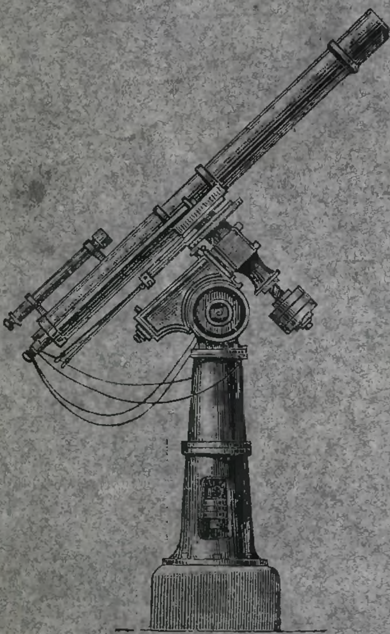
ZIEMIA I NIEBO

WYKŁAD POPULARNY ASTRONOMII

napisał

Stanisław Kramsztyk.



CZĘŚĆ I.

ZIEMIA JAKO BRYŁA NIEBIESKA.

WARSZAWA.

Nakład i własność Michała Arcta.

1898.

ZIEMIA I NIEBO

WYKŁAD POPULARNY ASTRONOMII.

Druk P. Laskauera & W. Babickiego.
Warszawa, Ś-to Krzyska Nr. 11.

ZIEMIA I NIEBO

WYKŁAD POPULARNY ASTRONOMII.

NAPISAŁ

Stanisław Kramsztyk.

CZĘŚĆ I.

ZIEMIA JAKO BRYŁA NIEBIESKA.

WARSZAWA.
Nakład i własność Michała Arcta.

—

1898.

Дозволено Цензурою.
Варшава, 4 Февраля 1897 года.

KSIĘGA I.

ZIEMIA JAKO BRYŁA NIEBIESKA.

I) Geografia matematyczna czyli astronomiczna.

Jak wędrowiec, wybierający się na zwiedzanie obcych krajów, przedewszystkiem własny swój kraj poznać winien, by zasób wiadomości, zaczerpniętych z najbliższych mu okolic, nauczył go oceniać odrębne objawy przyrody i odmienne stosunki społeczne, tak też i my obecnie, udając się w podróż po światach dalekich, w niezmiernej przestrzeni wszechświata rozrzuconych, oprzeć się musimy na znajomości własnej naszej ziemskiej siedziby.

Praca ta nietylko w tem znaczeniu okaże się użyteczną, że dozwoli nam ujmować wspólności i sprzeczności między ziemią naszą a innemi bryłami niebieskiemi, lecz jest nawet niezbędną, gdyż wskaże nam i utoruje drogi, które nadal obrać przyjdzie.

Ziemia bowiem jest jednem ogniwem w układzie światów, a wyjaśnienie wielu objawów, na niej zachodzących, wymaga odwołania się do obserwacyi nieba; sama zatem nauka o ziemi posłuży nam do wdrożenia się w badanie zjawisk astro-

nomicznych, ułatwi przejście od rzeczy bliższych i dostępniejszych do dalszych i bardziej zagadkowych.

Usprawiedliwienie to zakłada zarazem i ograniczenie przedmiotu, który tu pod uwagę naszą przychodzi. Z ogółu bowiem zjawisk ziemskich te tylko zająć nas mają, które bezpośrednio się wiążą z zadaniami astronomii. Dział ten nauki o ziemi zwykło się oddawna nazywać **geografią matematyczną,** a to ze względu na metodę jej rozważań i dochodzeń; można ją również nazywać i **geografią astronomiczną,** bo w samej rzeczy wchodzi ona w zakres astronomii.

Gdy zadaniem *geografii fizycznej* czyli *geofizyki* jest rozpatrzenie szczegółowe zjawisk, które w tak bujnej obfitości i rozmaitości zachodzą dokoła nas na lądach, w wodach i w powietrzu, tu należy nam ująć ziemię jako jedną całość ogólną, jako bryłę niebieską, i zapytać o jej *postać i wielkość,* o jej *ciężar i gęstość,* o jej *obrót dzienny,* który wywołuje zmianę dnia i nocy, i o *jej ruch roczny,* który powoduje następstwo *pór roku.* Należy nam nadto poznać sposoby *oznaczania położenia punktów na ziemi* i *zasady kreślenia kart geograficznych.* Ten szereg zadań wypełnia przedmiot geografii matematycznej.

ROZDZIAŁ I.

O POSTACI I WIELKOŚCI ZIEMI.

2) Pojęcia pierwotne.

Gdy dziś od najwcześniejszej młodości przywykliśmy powtarzać to treściwe, uświęcone zdanie, że «*ziemia ma postać kuli, pod biegunami spłaszczonej,*» uważamy je za pewnik jakiś naukowy, za aksyomat podobny do tych, na których matematyka gmach swoich twierdzeń buduje, nie domyślając się

zgoła, ile genialnych pomysłów i drobiazgowej pracy złożyć się musiało na zdobycie tej prawdy, która dziś jest własnością powszechną, dla wszystkich dostępną.

Ulegając wrażeniu zmysłowemu, narody pierwotne musiały uważać ziemię za płaską. Homer, Hezyod, Herodot wyobrażali sobie ziemię jako tarczę płaską, ze wszech stron oceanem oblaną. Nie można wszakże żądać, by poglądy mogły być inne, gdy ledwie drobna cząstka ziemi znaną była, a cały świat ówczesnego Greka nie sięgał daleko po za granicę Hellady, od Kaukazu do Sycylii. Dopiero w późniejszych czasach kraniec ziemi usunął się po słynne słupy Herkulesowe, dzisiejszy Gibraltar. Dalej rozpoczynała się już kraina baśni. I dla Talesa zatem, w szóstym wieku przed Chrystusem, ograniczona ta przestrzeń jest kręgiem po wodzie płynącym.

Inni filozofowie greccy tworzyli domysły bardziej dziwaczne; Leucyp przypisywał ziemi postać walcowatą, wydrążoną nakształt wewnętrznej powierzchni bębna; według Heraklida, miała ona formę czółenkowatą; według Anaksymandra była obłą; według Ksenofanesa, posiadała od spodu korzeń, coraz cieńszy i ciągnący się w nieskończoność.

Wogóle jednak przeważało w starożytności pojęcie o płaskości ziemi, które ustąpić mogło dopiero wtedy, gdy umysł myślicieli zdołał się oswobodzić z krępujących go więzów złudzeń zmysłowych, gdy duch ludzki nauczył się sięgać dalej, aniżeli wzrok ludzki sięga. Plato pojmuje, że ziemia ciągnie się daleko poza obszary, znane jego rodakom: «My, co mieszkamy między rzeką Phazis a słupami Herkulesowemi, osiadłszy nad brzegami morza wewnętrznego (Śródziemnego), niby mrówki lub żaby dokoła bagna, znamy zaledwie drobną część ziemi;» a snując genialne swoje rojenia z naczelnej zasady dobra i doskonałości, uważa za formę typową ziemi sześcian, gdy światu całemu przypisuje najdoskonalszą postać kuli.

Już jednak przed Platonem domyślać się zaczęto kulistości ziemi. Być może, że zasadę tę wygłosił pierwszy Pyta-

goras, lubo i w jego zestawieniu żywiołów z bryłami foremnemi ziemia sprowadza się do sześcianu.

Jaśniej i dowodniej za kulistością ziemi przemawia Parmenides z Elei w piątym wieku przed Chrystusem, ale dopiero trzej najsłynniejsi przedstawiciele w starożytności nauk przyrodniczych, matematyki i astronomii, Arystoteles, Archimedes i Ptolemeusz, uzasadniają pogląd ten dowodami, opartemi na obserwacyi i matematycznie wyrozumowanemi.

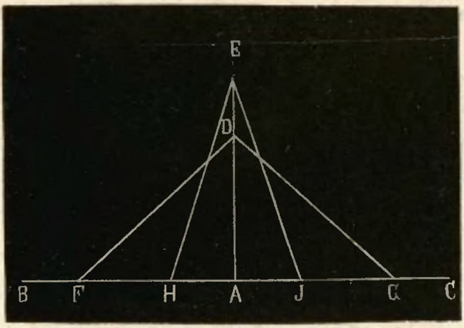
Dowody te znane są powszechnie z początkowej nauki geografii, należy nam wszakże bliżej się nad niemi zastanowić.

3) Dowody kulistości ziemi.

Pomiędzy argumentami, które za kulistością ziemi świadczyć mają, znajdujemy często na pierwszem miejscu dowód czerpany z *okrągłości horyzontu.* Gdziekolwiek oku naszemu przedstawia się widok zewsząd otwarty, jest on ze wszech stron ograniczony linią kołową;—stąd wypływać ma wniosek, że ziemia jest kulą, bo każdy odcinek kuli zamknięty jest okręgiem. Wniosek taki wszakże zgoła nie jest uzasadniony, choćby bowiem ziemia była płaską, widnokrąg nasz również musiałby być okrągłym dla tej prostej przyczyny, że wzrok nasz na wszystkie strony jednakowo daleko sięga.

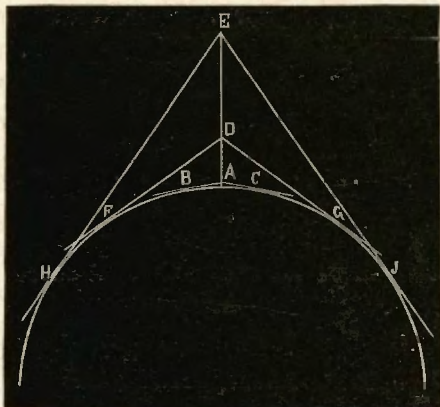
Jednakowoż rozpatrywanie horyzontu dostarczyć nam może dowodu bardziej przekonywającego, polegającego na tem znanem dostrzeżeniu, że obszar obejmowany wzrokiem powiększa się w miarę jak wstępujemy w górę. Rzeczywiście, gdyby ziemia była płaską, granice widzianej przez nas przestrzeni zależałyby wyłącznie od doniosłości wzroku naszego; jeżeli więc, stojąc na powierzchni ziemi, obejmujemy okiem odległości AB i AC (fig. 1), to z wyniesionego punktu D wzrok nasz sięgałby tylko do F i G, a ze stanowiska jeszcze wyższego E tylko do H i J, gdzie linje DF i DG, podobnież jak EH i EJ, wyrównywają odległościom pierwotnym AB i AC.

Zupełnie inaczej rzeczy się mają, jeżeli powierzchnia ziemi jest skrzywioną; wtedy nie doniosłość wzroku ogranicza



(Fig. 1.)

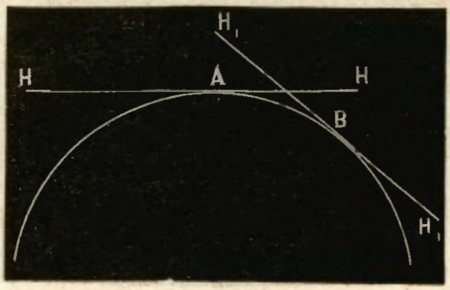
pole widziane, ale samo skrzywienie ziemi pod poziom stawia tamę oczom naszym; z punktu więc A (fig. 2), tuż nad ziemią



(Fig. 2.)

położonego, widzimy tylko do B i C, ale z punktu D sięgamy wzrokiem do F i G, a ze szczytu E dalej jeszcze do H i J. Skoro zaś w rzeczywistości granice widnokręgu rozszerzają się w miarę, jak coraz wyżej na góry wchodzimy, mamy w tem dowód kulistości, a przynajmniej skrzywienia powierzchni ziemi.

Jeżeli w miejscu A, gdzie się na ziemi znajdujemy, poprowadzimy do jej powierzchni płaszczyznę styczną HH (fig. 3), stanowi ona jakby rozszerzenie tej cząstki powierzchni

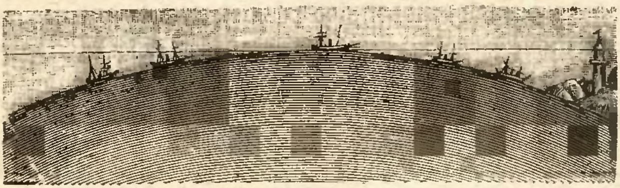


(Fig. 3).

ziemskiej, która się nam płaską wydaje, a tem samem oku naszemu jest dostępną; płaszczyzna ta właśnie stanowi nasz *poziom* albo *horyzont* i odgranicza widzialny dla nas obszar świata od niewidzialnego, widzialną część nieba od niewidzialnej. Dla innego miejsca B horyzont jest też inny H'H', i w ogólności każdy punkt ziemi ma własny swój horyzont. Gdy wchodzimy wyżej, otwiera się nam widok rozleglejszy, a horyzont się zniża, jak to widzimy na fig. 2.

Cośmy tu o poziomie powiedzieli, prowadzi nas bezpośrednio do drugiego dowodu kulistości ziemi, który jest dobrze znany zwłaszcza żeglarzom i mieszkańcom nadbrzeżnym. Gdy znajdujemy się na brzegu morskim, na wzgórku lub na wieży, a okręt zjawia się daleko na poziomie, dostrzegamy najpierw szczyty jego masztów i żagle najwyżej wysunięte; w miarę, jak okręt się zbliża, wynurzają się z pod poziomu środkowe części masztu i żagle dolne, wreszcie okazuje się pudło i widzimy cały okręt. Przebieg tego zjawiska objaśnia dobrze fig. 4. Gdy statek się od brzegu oddala, rzeczy mają się wręcz przeciwnie: najpierw niknie nam pudło, następnie środkowe części masztów, a wreszcie i ich szczyty; aby wtedy okręt raz jeszcze ujrzeć, trzeba wejść na wzgórze lub na inną wyniosłość, a najpierw znów ukażą się nam szczyty masztów

i górne żagle, gdy z wysokości znaczniejszej dostrzeżemy i dolne części statku; horyzont nasz bowiem wtedy zniża się



(Fig. 4).

i rozszerza. Dowód ten przytoczył pierwszy Ptolemeusz, ale na kulistość morza zwrócił uwagę Archimedes.

Na lądzie, z powodu chropowatości jego powierzchni, wyniosłości wzgórz i zagłębień dolin, zjawisko to nie jest tak wyraźnem i uderzającem; niemniej jednak, gdy na rozległej równinie zbliżamy się do wieży lub pasma górskiego, ukazują się nam najpierw szczyty. Gdyby ziemia była płaska, przedmioty dalekie ukazywałyby się nam w całości, skoroby się tylko dostawały w obrąb donioskości naszego wzroku.

Szereg innych jeszcze dowodów potwierdza kulistość ziemi. Mieszkańcy półkuli południowej widzą na niebie gwiazdy, których my nie znamy, znaczna zaś liczba gwiazd dla nas widzialnych jest im nieznaną; gdy udajemy się z północy daleko na południe, widok nieba gwiaździstego dla nas się zmienia. Gdyby ziemia była płaska, ze wszystkich jej punktów widzianoby jedne i te same gwiazdy; dzięki wszakże jej kulistości każdy jej punkt ma odrębny poziom, z każdego tedy miejsca inną część nieba dostrzegamy. Okoliczność tę rozbierzemy następnie dokładniej.

Podróż w kierunku od wschodu ku zachodowi nie przyniosłaby nam gwiazd nowych, gwiazdy bowiem same w kierunku tym podróżują, to jest wschodzą i zachodzą, podobnie jak słońce. Gdyby wszakże ziemia była płaską, słońce, wzniósłszy się nad jej poziom, zajaśniałoby naraz dla wszystkich jej punktów, wszystkie miejsca na ziemi miałyby jednocześnie dzień i noc, wszędzie w jednej i tej samej chwili zegary wska-

zywałyby jedną i tę samą godzinę. Dla miejsc wszakże na wschód względem nas położonych, słońce wschodzi wcześniej dla miejsc bardziej zachodnich później, ziemia jest więc także i w kierunku wschodnio-zachodnim skrzywioną. Skrzywienie też ziemi tłómaczy, że wschodzące słońce wcześniej szczyt góry, aniżeli spód jej oświetla.

Poznamy następnie, że przyczyną zaćmień księżyca jest cień przez ziemię rzucany po stronie od słońca odwróconej; otóż, gdy cień ten pada na księżyc i powierzchnię jego częściowo zaciemnia, ograniczony jest zawsze linią kołową. Wypada stąd, że i ziemia, która cień ten rzuca, ma postać skrzywioną, kulistą. Dowód ten pochodzi od Arystotelesa. Wszystkie tedy przytoczone tu dowody kulistości ziemi znane już były u schyłku wieków starożytnych.

Niedawno dwaj przyrodnicy szwajcarscy, Forel i Dufour, wskazali ciekawy bardzo sposób przekonania się o skrzywieniu powierzchni mórz i jezior.

Od gładkiej powierzchni wody odbite promienie wydają obrazy, jak w zwierciadłach; obrazy w zwierciadłach płaskich wyrównywają wymiarami swemi przedmiotom, w zwierciadłach zaś wypukłych są zmniejszone. Przy pomocy tedy dokładnych obserwacyi przekonali się wspomnieni badacze, że na rozległych wodach zachodzi ten ostatni przypadek, a w szczególności obraz słońca wydaje się zmniejszonym.

4) Zagłada i odrodzenie pojęć o kulistości ziemi.

Gdy wielcy myśliciele starożytni uzasadnili naukę o kulistości ziemi, była ona widocznie powszechnie przyjętą przez ówczesne warstwy oświecone, z epoki tej bowiem nie doszedł nas żaden przeciw niej protest. Dopiero z upadkiem nauk, który cechuje początek wieków średnich, rozwiały się zupełnie pojęcia o kulistości ziemi. Upodobanie do cudowno-

ści, niechęć do ścisłego rozumowania, przesiąknięcie mistycznych pojęć wschodnich, wszystko to dostatecznie tłómaczy powrót do pierwotnych, dziecinnych pojęć ludzkości.

Stosunek nieba do ziemi wyobrażono sobie, jakby dachu sklepionego nad posadzką. Mnich egipski Kosmos obmyślił, albo też osnuł na pojęciach syryjskich osobliwy system, według którego słońce w nocy chroniło się po za olbrzymią górę.

I w czasach tej pomroki byli jednak ludzie wybitni, jak Beda Venerabilis, Jan Erigena, którzy hołdowali zasadom Ptolemeusza; ale jeszcze u schyłku wieku piętnastego Kolumb zaledwie zdołał wpoić we współczesnych sobie ożywiającą go wiarę w możliwość drogi zachodniej do Indyi,—uczeni doktorowie Salamanki przekonywali go gorliwie o niedorzeczności i bezbożności podobnego zamiaru.

Szczególnie trudno przychodziło ludziom ówczesnym pogodzić się z myślą o antypodach, czyli mieszkańcach przeciwnożnych. Jakże mogą chodzić z głowami zwróconemi ku dołowi, dlaczegóż nie spadają w przepaść? Obawy te usuwa wszakże zrozumienie zasady, że siła ciężkości na ziemi działanie swoje ujawnia tak, jakby siedliskiem jej był środek bryły ziemskiej. Spadek zatem ciała znaczy dążenie ku środkowi ziemi, tak samo dla nas, jak dla naszych antypodów, oni tedy, podobnie jak my, mają głowy ku górze zwrócone. Co jednak teraz jest tak łatwo zrozumiałem, nie było wówczas równie dostępnem, jak i dziś jeszcze nieprawdopodobnem wydaje się warstwom ludności, do rozumowania naukowego nienawykłym. Zwrot stanowczy w pojęciach ogółu nastąpić mógł dopiero w wieku szesnastym, po wielkich odkryciach Kolumba. Był to bowiem pamiętny okres dla rozwoju ziemioznawstwa, a podróże naokoło ziemi złożyły dowód jej kulistości, jeżeli nie najpewniejszy, to niewątpliwie najwymowniejszy i najdostępniejszy.

Pierwszą podróż dokoła ziemi przedsięwziął Magellan w r. 1506; wypłynąwszy ku zachodowi od brzegów Portugalii,

okrążył przylądek Horn i przybył do portów chińskich, skąd okręty jego ze szczątkami załogi, żeglując wciąż na zachód, wróciły do Europy, dając tem dowód niewątpliwy, że ziemia jest skrzywiona w kierunku wschodnio-zachodnim.

Dalekie te podróże wywierały wpływ niesłychany. Dziś jeszcze, gdy morza i lądy żadnej już prawie dla nas nie kryją tajemnicy, a piśmiennictwo podróżnicze tak się rozrosło, że tylko arcydzieła jego uwagę na siebie zwrócić mogą, dziś jeszcze niepodobna bez najżywszego zajęcia i bez istotnego wzruszenia czytać opisów tych śmiałych wędrowców, którzy śród niepojętych dziś zawad i trudów, pierwsi ziemię dokoła opłynęli i zuchwale rzucali się w obszary nieznane i tajemnicze jak grób, bo jak z za grobu nikt jeszcze stamtąd wieści nie przyniósł. Opisy tych wypraw rozbiegały się szybko, z ciekawością słuchano opowiadań o dziwnych krajach, ze zdumieniem dowiadywano się o antypodach naszych, a sprawa kulistości ziemi stanowczo była wygraną.

5) Niedostateczność powyższych dowodów.

Jakkolwiek zaprzeczyć nie można, że powyższe dowody za kulistością ziemi silnie przemawiają, wszakże przy baczniejszem zastanowieniu moc ich przekonywająca niezupełnie się dostateczną okazuje. Widzieliśmy już wyżej, że pospolicie przytaczany dowód z okrągłości horyzontu jest zgoła ułudny, ale także i przeciw innym argumentom nasuwają się zarzuty poważne. Tak w szczególności podróże naokoło ziemi nie dowodzą wcale kulistej postaci ziemi, a tylko skrzywienia jej w kierunku wschodnio-zachodnim; dotąd bowiem nie zdołano opłynąć żadnego bieguna. To samo powiedzieć można i o dowodzie z zaćmień księżyca; nietylko bowiem kula, ale i inne bryły, jak walec lub stożek, w niektórych przynajmniej położeniach, rzucać mogą cień okrągły. Nawet i wnioski, wyprowadzane z rozszerzania się widnokręgu, napotykają pewną

trudność uboczną, polegającą na zasadach załamywania promieni światła. Promienie, biegnące z powierzchni ziemi do oka obserwatora, znajdującego się na znacznej wysokości, przechodzą warstwy powietrza coraz rzadsze i załamują się tak, że przebiegają właściwie linię krzywą, wklęsłością obróconą ku dołowi. Sprowadza to złudzenie podobne do tego, jakiemu ulegamy, patrząc z boku na dno jeziora, lub choćby tylko na naczynie napełnione wodą; woda wydaje się nam płytszą, a dno podniesionem. Podobnie się dzieje i w przypadku, który nas obecnie zajmuje: przedmioty dokoła nas rozłożone przedstawiają się nam jakby wyniesione, i to tem więcej, im dalej się od nas znajdują. Cała przeto powierzchnia poziomu w dali nie zapada coraz głębiej, ale wydaje się jakby ku górze wygiętą, a obserwator, na wysokości będący, doznaje złudzenia, jak gdyby znajdował się w środku powierzchni wklęsłej, nie zaś wypukłej.

Dla tego to może powodu niektórzy filozofowie starożytni, jak widzieliśmy wyżej, przypisywali ziemi postać nieckowatą, wydrążoną. W takim razie błędne ich poglądy świadczyły dobrze o ich darze obserwacyi.

Uwagi te oczywiście nie są tego rodzaju, by osłabić mogły siłę powyższych dowodów; znaczą one jednak, że dla należytego uzasadnienia kulistości ziemi potrzeba drogi ściślejszej i gruntowniejszej, a drogę taką stanowią pomiary bryły ziemskiej, które prowadzą zarazem i do oznaczenia jej wielkości.

6) Zasada pomiarów ziemi.

Pytanie o wielkości ziemi łączy się bezpośrednio z pojęciem, jakie o jej postaci mamy; niepodobna bowiem dochodzić rozległości tarczy o granicach nieokreślonych, albo też bryły o korzeniu nieograniczenie w tajemniczą głąb sięgającym; ale zadanie to jasno się przedstawia, gdy mamy do czynienia

z bryłą ściśle ograniczoną, zamkniętą, a ułatwia się niesłychanie wobec bryły prawidłowej, jaką właśnie przedstawia ziemia kulista.

Kula stanowi formę geometryczną tak prawidłową, że znajomość jedynie jej promienia pozwala rachunkiem bardzo prostym ocenić wszystkie inne jej wymiary, i długość kół na niej nakreślonych, i pole jej powierzchni, i jej objętość wreszcie. Wszystko to, od czasów Archimedesa, jest rzeczą łatwą, gdy znamy promień kuli; ale skoro nam o ziemię idzie, nie może być mowy o bezpośrednim pomiarze jej promienia, i pozostaje jedynie droga wręcz odwrotna,—należy nam zmierzyć obwód ziemi, a ztąd długość jej promienia obliczyć. Na powierzchni kuli, czyli na sferze, kreślić można oczywiście okręgi kół rozmaitej wielkości; największe z tych okręgów dają nam właśnie obwód kuli, albo, jak się je nazywać zwykło, jej koła wielkie. Koło wielkie tem się cechuje, że promień jego jest właśnie i promieniem kuli, na której jest nakreślone. Wielkie koła na kuli ziemskiej przedstawiają nam tedy południki i równik; znaczenie tych lini poznamy następnie lepiej, tymczasem jednak możemy o nich tu mówić, jako o rzeczy powszechnie wiadomej.

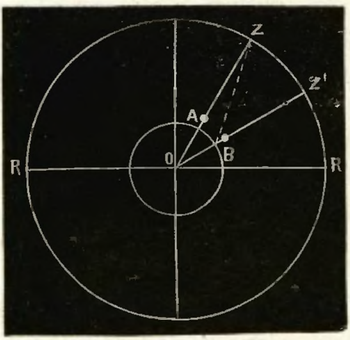
Każdy okrąg koła jest od średnicy swojej większy $\frac{22}{7}$ czyli 3,14 raza; jest to zresztą wartość przybliżona tylko tego stosunku, który w geometryi oznacza się głoską grecką π (jako pierwszą głoską wyrazu *perymetr, obwód)*. Jeżeli więc zmierzymy okrąg wielkiego koła na ziemi i długość tę podzielimy przez π (3,14), znajdziemy średnicę ziemi, a połowa jej da nam szukany promień kuli ziemskiej. Takim sposobem zadanie pomiaru ziemi sprowadza się do zmierzenia wielkiego jej koła, to jest *południka*. W takiej rozciągłości przedstawione to zadanie nie byłoby zapewne wiele łatwiejszem, aniżeli zmierzenie średnicy ziemskiej, ale przecież nie trudno tu będzie wprowadzić istotne a niezmierne ułatwienie. Dla zupełnej prawidłowości okręgu koła oznaczymy bezpośrednio całą jego długość, skoro znaną nam będzie pewna, oznaczona

jego część. Otóż okrąg koła zwykło się dzielić na 360 równych części, zwanych stopniami; dla znalezienia przeto długości całego południka wystarcza nam znajomość długości jednego stopnia, — i rzeczywiście całe olbrzymie zadanie zmierzenia ziemi sprowadza się do pomiaru stopnia południka. Wychodząc tedy z któregokolwiek miejsca na ziemi, należy się posunąć w kierunku południka na północ lub na południe o długość jednego stopnia i przestrzeń przebieżoną zmierzyć. Ale, niestety, do wykonania rzecz ta równie jest trudną, jak łatwą jest do pojęcia.

Bo najpierw na ziemi niemasz zgoła drogoskazów, któreby nas ostrzegały, żeśmy się o jeden stopień na jej powierzchni posunęli; pomiar rozpocząć możemy z któregokolwiek punktu, ale nie wiemy zgoła dokąd go prowadzić, gdzie go ukończyć. Drogoskazów takich niema na ziemi, ale bardzo je wyraźnie wyczytać można na niebie.

Prosty rysunek rzecz tę nam wyjaśni.

Kółko małe *AB* (fig. 5) przedstawia *południk ziemski*, okrąg zaś większy wyobraża odpowiednią linię na sklepieniu niebieskiem. Człowiek, stojący w punkcie *A*, widzieć będzie nad głową swoją, czyli w zenicie swoim, gwiazdę *Z*, a gdy przejdzie po południku do miejsca *B*, dostrzeże już nad głową swoją inną gwiazdę *Z'*. Dla usunięcia zresztą wątpliwości przypominamy, że człowiek stojący prosto utrzymuje się pionowo, czyli w kierunku linii, przechodzącej przez środek ziemi. Samo zaś spojrzenie na rysunek uczy, że łuk na pozornej sferze niebieskiej, zawarty między dwiema gwiazdami *Z* i *Z'*, jest takąż częścią całego południka niebieskiego, jaką łuk *AB* jest częścią południka ziemskiego, czyli, innemi słowy, łuk *ZZ'* ma zupełnie



(Fig. 5).

tyleż stopni, co łuk *AB*. Stojąc tedy w punkcie *B*, spoglądamy na gwiazdę *Z*, następnie odwracamy głowę tak, aby dostrzedz gwiazdę *Z'*; wielkość tego obrotu głowy daje nam pojęcie o wielkości łuku *ZZ'*, aby wszakże ocena była dokładna, uzbroić się należy w kątomiar, z którym zapoznamy się dalej. Tak postępując, mierzymy właściwie kąt *ZBZ'*, gdy w samej rzeczy należy zmierzyć kąt *ZOZ'*, w porównaniu jednak z odległością gwiazd wymiary ziemi są tak drobne, że stanowi ona względem nich punkcik zaledwie; położenie gwiazdy jest przeto zupełnie jednakie, czy spoglądamy na nią z powierzchni ziemi, czy też z jej środka.

Jeżeli więc, wychodząc z któregokolwiek na ziemi miejsca, posuwać się będziemy po południku, dopóki gwiazda, która była pierwotnie tuż nad naszą głową, nie oddali się od naszego zenitu o jeden stopień, znaczyć to będzie, żeśmy i na ziemi jeden stopień przebiegli. Gdy nadto przebieżoną tę długość zmierzymy, wiedzieć będziemy, ile sążni wynosi jeden stopień południka, stąd zaś rachunkiem oznaczymy długość całego południka, a dalej i promienia ziemi.

Rozumowanie nasze zresztą w pewnej części uważać należy za tymczasowe tylko, poznamy bowiem następnie (§ 40) metody dokładniejsze mierzenia łuków na południku; obecnie zaś opowiedzieć nam należy dzieje usiłowań, jakie łożył człowiek w celu zbadania postaci i wielkości ziemi.

7) Dawniejsze pomiary ziemi.

Pierwszy pomiar południka, a zatem i ziemi, był dokonany przed dwoma tysiącami lat w Egipcie.

Żaden inny kraj nie nadawał się do tego celu tak dobrze, jak stary kraj Faraonów; dolina bowiem Nilu ciągnie się prawie w kierunku południkowym i jest zupełnie płaską. Kraj był podzielony na dwa szeregi obwodów, rozłożone wzdłuż Nilu, przedzielone granicami idącemi poprzecznie do rzeki.

Dla oznaczenia rozległości tych powiatów dawno już zmierzono ich długości i szerokości, tak, że rozciągłość kraju z południa na północ można było otrzymać przez proste zsumowanie długości powiatów, po jednej stronie rzeki położonych. Wszystko więc było przygotowanem; trzeba było tylko bystrości myśli greckiej, aby materyał ten spożytkować w olbrzymim celu zmierzenia ziemi. I dokonał tego Ateńczyk Eratostenes, powołany w trzecim wieku przed Chrystusem przez Ptolemeusza Euergeta na przewodniczącego słynnej biblioteki aleksandryjskiej. Usłyszał on mianowicie, że w Syenie, daleko na południe leżącej, w czasie najwyższego stanowiska słońca, czyli w dniu przesilenia letniego, w chwili południa, przedmioty zgoła cienia nie rzucają, a promienie słoneczne oświetlają wody studzien aż do dna. Wniósł z tego słusznie, że w dniu tym słońce znajduje się niemal w zenicie Syeny. Poznał nadto, że tego samego dnia, również w południe, słońce w Aleksandryi oddalonem jest od zenitu o $7^0\ 12'$. Słońce więc jest gwiazdą Z (fig. 5), o której mówiliśmy wyżej, a z tego wypływa, że i łuk południka ziemskiego, między Syeną i Aleksandryą wynosi także $7^0\ 12'$, co stanowi $^1/_{50}$ część całego okręgu koła. A że według dawnych pomiarów egipskich, odległość tych dwu miast wynosiła 5000 stadyi, przeto cały południk ziemski obejmuje ich 50 razy więcej, to jest 250000 stadyi. W owych zatem czasach, gdy zaledwie świtała myśl o kulistości ziemi, dowiedział się już człowiek, jak wielką jest bryła, którą zamieszkuje, a której małą zaledwie znał wtedy cząstkę.

Krytyka nieraz rozpatrywała wyniki pracy Eratostenesa pragnąc ocenić, jak dalece zbliżył się on do prawdy, a dokładny zwłaszcza jej rozbiór podał Lelewel, najsumienniejszy badacz geografii starożytnej. Rozstrzygnięcie wszakże jest trudnem, z mniej lub więcej bowiem uzasadnionych tylko domysłów wnosić możemy, jak wielką była stadya, do pomiaru tego użyta Prawdopodobnie wynosiła ona około $^1/_{40}$ dzisiejszej mili geograficznej; w takim razie obwód ziemi, według Eratostenesa,

miałby 6250 mil geograficznych, zatem niemal o 1000 mil więcej, aniżeli wypada z pomiarów nowszych. Nikt wszakże za błąd ten poniżać pracy Eratostenesa nie zechce, nikt też nie mógłby żądać dokładności w czasach owych, gdy ani astronomii ani miernictwu nie stały na usługi narzędzia ścisłe, gdy brakło jeszcze owej wprawy, którą wyrobić miała dopiero praca długich wieków i pokoleń. Nie z tego bowiem zasługę matematyka greckiego sądzić winniśmy, jak wykonał, ale co wykonał; pamiętać należy, że on pierwszy wskazał drogę, która wciąż się doskonaliła i doskonali jeszcze, ale w zasadzie pozostała jedną i tą samą.

W sto lat później inny filozof grecki, Pozydoniusz z Apamei, drogą podobną jak Eratostenes, a następnie Ptolemeusz, metodą nieco ściślejszą, przeprowadzili pomiary południka; rezultaty przez nich osiągnięte nie górowały zapewne wiernością nad pracą pierwszą, a jednak starczyć miały na długi okres, aż do drugiej połowy wieku siedemnastego.

Ze schyłkiem bowiem wieków starożytnych wszelka myśl naukowa zginęła śród narodów europejskich, a przez dziwną zamianę ról ci sami synowie Wschodu, co niedawno zniszczyli zabytki wiedzy starożytnej, zbratali się z nauką grecką, odtworzyli ją z niedopalonych szczątków aleksandryjskich i rozmiłowali się w astronomii i geografii.

Wtedy to z polecenia kalifa Al-Mamuma (813 — 833) dwaj uczeni arabscy Chalif ben Abdelmalk i Ali ben Iza zmierzyli prętami odległość dwu punktów na powierzchni ziemi; punkty te były oddalone o 2^0, t. j. o $^1/_{180}$ części południka, a odległość ich oznaczona na 450.600 łokci; według tego zatem długość całego południka wynosi 450.600 $\times$ 180 = 81.108.000 łokci.

O ile znamy długość łokcia arabskiego, wielkość powyższa niewiele różni się od dawnych egipskich pomiarów, a uczonym arabskim zarzucają nietylko, że pracowali zbyt pośpiesznie, ale nawet, że ułatwili sobie pracę, przekładając poprostu miary greckie na arabskie.

Siedm wieków upłynęło wszakże, zanim praca ta nanowo podjętą została. W roku 1550, lekarz francuski Jan Fernel, udał się z Paryża drogą do Amiens, powozem tak urządzonym, że mógł przeliczyć ilość obrotów kół, i posuwał się tak daleko, dopóki z wysokości słońca w południe nie osądził, że przebiegł jeden stopień ku północy. Pomimo uderzającej niedokładności tego postępowania, długość tę oznaczył z błędem stosunkowo niewielkim, czem również wzbudził podejrzenie, że przedstawił jedynie wyniki prac dawnych swych poprzedników.

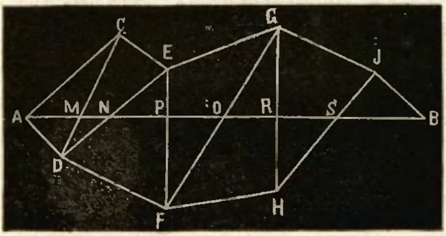
8) Tryangulacyja czyli trójkątowanie.

Z początkiem dopiero wieku XVII nastaje nowy okres w sprawie pomiarów ziemi. Postęp techniki wytworzył przyrządy miernicze dokładniejsze, a wynalazek lunet i teleskopów powiększył siłę wzroku ludzkiego i nadał mu pewność taką, że odtąd dopiero położenie gwiazd należycie można było oznaczać. Ale jak zmysły znalazły pomoc niespodziewaną, tak też i rozwój matematyki nadał rozumowaniu ścisłość dawniej nieznaną; powstały nowe gałęzie tej starej nauki, pod których wpływem miernictwo zupełnemu uległo przeobrażeniu.

Obok niedokładności w oznaczaniu położenia gwiazd, drugiem ważnem źródłem błędów w pomiarach dawniejszych było to, że ziemia, najeżona chropowatościami, nie pozwala nigdzie oznaczyć dokładnie długości na przestrzeni nieco znaczniejszej; trygonometrya uczy, jak szkopuł ten bezpiecznie ominąć można, bo według jej zasad potrzeba istotnie zmierzyć na ziemi linię niewielką, aby dalej już drogą rachunku poznać długość jakiejkolwiek wielkiej linii.

Zasługa wprowadzenia tej metody przypada geometrze holenderskiemu Willebrordowi Snelliusowi; polega ona na użyciu pomocniczej sieci trójkątów i dlatego też nazywa się tryangulacyą, to jest trójkątowaniem.

Nie będzie nam trudno zapoznać się z jej głównemi zasadami. Przypuśćmy, że idzie o zmierzenie długości części południka między miejscami *A* i *B* (fig. 6). Od punktu *A* prowadzi-



(Fig. 6).

my w kierunku zupełnie dowolnym linię *AC*, którą obrać przeto możemy w warunkach najbardziej sprzyjających; linię tę, zwaną podstawą, zmierzyć należy jak najstaranniej. Następnie z jednej i drugiej strony południka obieramy stanowiska *C*, *D*, *E*, *F* i t. d., oznaczone przedmiotami stałemi, wyniosłemi wieżami zwykle, i tak, aby z każdej z nich dostrzedz można było stanowiska sąsiednie; wtedy z punktu *A* za pomocą lunety spoglądany najpierw na punkt *C*, następnie obracamy ją tak, aby dostrzedz punkt *D;* kąt, o jaki będzie trzeba obrócić lunetę, będzie właśnie kątem *DAC* na gruncie; następnie przenosimy się do punktu *C*, skąd podobnież, spoglądając na stanowiska *A* i *D*, zmierzymy kąt *ACD;* w trójkącie przeto *ACD* znamy bok i dwa kąty i możemy rachunkiem oznaczyć długość boku *CD*. Jeżeli więc, podobnie jak poprzednio, oznaczymy kąty *ECD*, i *CDE*, z rozwiązania, jak się mówić zwykło, trójkąta *CDE*, znajdziemy długość boku *DE*, a w ten sposób postępując dalej, poznamy długość wszystkich boków, jakie sobie wyobrażamy, nakreślone na gruncie. Następnie trzeba jeszcze oznaczyć kąt *CAM*, który obrana podstawa *AC* czyni z kierunkiem południka *AM*, a wtedy z trójkąta *ACM* poznamy długość pierwszej części południka *AM:* z tegoż trójkąta obliczymy długość *CM*, a że długość *CD* jest nam już znaną, znać też będziemy bok *DM* trójkąta *DMN*

którego rozwiązanie da nam długość drugiej części południka *MN*. Pojmujemy, że w ten sposób idąc dalej, znajdziemy częściami całą długość południka *AB*. Możemy nadto mieć łatwą kontrolę całej roboty, jeżeli zmierzymy rzeczywiście ostatni bok *JB* i przekonamy się, czy pomiar ten jest zgodny z długością tego boku, otrzymaną rachunkiem. Całe zatem zadanie pomiaru południka sprowadza się do zmierzenia dowolnej podstawy i do zmierzenia szeregu kątów, co jest zadaniem nieporównanie łatwiejszem. Rachunek zaś znalazł istotną pomoc w logarytmach, których wynalazek na początek wieku XVII przypada.

Metody przez siebie obmyślonej użył Snellius do zmierzenia łuku południka w Holandyi, między Bergen op Zoom a Alkmaarem, 1615 r. Niezadowalający rezultat tej pracy nie jest zapewne winą metody postępowania, lecz niedokładnych jeszcze narzędzi, któremi się posługiwano.

Chwała przeprowadzenia pierwszego dokładnego pomiaru ziemi przypada Francyi, która odtąd na długo stała się głównem ogniskiem tych badań.

Daleko już słynęło obserwatoryum paryskie, ale Ludwika XIV nudziły suche prace astronomiczne; dla rozerwania tedy króla pracą więcej zajmującą postanowiono zmierzyć wielkość ziemi. Stanowi to istotną epokę w tej sprawie; zadanie to bowiem poruczono Picardowi, który je pomyślnie przeprowadził w r. 1669 — 1670, zmierzywszy łuk południka $1^0\ 21'\ 57''$, między Malvoisine i Amiens.

Korzystał on nietylko z narzędzi dokładniejszych niż Snellius, lecz i metody rachunkowe wprowadził ściślejsze; trójkąty bowiem nakreślone na ziemi uważał jako sferyczne, to jest ograniczone liniami krzywemi, nie za płaskie, za jakie je Snellius przyjmował; zarazem też i podstawę obrał dłuższą — 5663 sąż. par. Był to pierwszy pomiar istotnie matematyczny, z którego wypadło, że długość jednego stopnia wynosi 57060 sążni paryskich (toises).

Właściwie i Picard nie uniknął błędów, zarówno w pomiarze podstawy, jak i w astronomicznem oznaczeniu krańcowych punktów mierzonego łuku południka; ale dzięki osobliwemu zbiegowi błędy astronomiczne wynagrodziły o tyle błędy geodetyczne czyli miernicze, że nawzajem się zniosły, i praca Picarda posiada ścisłość uderzającą.

W dziejach umysłowego rozwoju ludzkości pomiar ten ma znaczenie niesłychanie doniosłe, przyczynił się bowiem do uzasadnienia praw ciążenia powszechnego, jak to poznamy następnie.

9) Spłaszczenie ziemi.

Po pomiarach Picarda można tedy było pytanie o wielkości ziemi uważać za rozwiązane, ale właśnie wtedy, w drugiej połowie siedmnastego wieku, powstała nowa, a niezmiernie ważna kwestya, tycząca się znowu samejże postaci ziemi, zaczęto bowiem powątpiewać o zupełnej jej kulistości. W owym mianowicie czasie, w r. 1673, zastosował Huyghens wahadło do zegarów, co dopiero dało możność dokładnego mierzenia czasu; zdumienie wszakże wywołało szczególne spostrzeżenie żeglarzy, że zegary przewożone na południe, w okolice bliższe równika, opóźniały się, a dla należytego ich uregulowania trzeba było wahadła skracać. Dla rozstrzygnięcia tej rzeczy udał się w r. 1677 z polecenia akademii paryskiej Jan Richer do Kajenny, gdzie przekonał się w samej rzeczy, że tam zegar jego opóźniał się codziennie o $2^1/_2$ minuty i że wahadło sekundowe paryskie było tam o $1^1/_4$ linii zbyt długie.

Ponieważ przyczyną poruszającą wahadło jest siła ciężkości, z wolniejszego tedy biegu można było wnosić, że siła ciężkości słabiej działa w okolicach równika, a rośnie natomiast w miarę posuwania się stąd ku biegunom.

Nastręczyło się przeto pytanie: dlaczego to siła ciężkości w różnych punktach ziemi niejednakowo działa?—a pytanie to rozstrzygnął Newton domysłem, że źródłem tej niejednostaj-

ności jest spłaszczenie ziemi podbiegunowe, czego się poprzednio zgoła nie domyślano. Skoro bowiem ziemia pod biegunami jest spłaszczona, w takim razie od biegunów bliżej aniżeli od punktów równika do środka ziemi, który jest jakby siedliskiem siły ciężkości, a tem samem siła ciężkości z większem natężeniem działać musi na biegunach i maleje statecznie, jeżeli się stąd ku równikowi posuwamy.

Nie wkraczając zresztą bliżej w rozbiór tej rzeczy, która raczej przedmiot fizyki stanowi, nadmienić nam wypada, że na działanie siły ciężkości ma też wpływ i obrót ziemi naokoło osi, a raczej obrotem tym wzbudzona siła odśrodkowa; samo nawet spłaszczenie ziemi tego działania jest wynikiem. Jeżeli zgodzimy się na to, że ziemia niegdyś była w stanie płynnym, to obrót dokoła osi zmienić musiał pierwotną doskonałą jej postać kulistą i sprowadził spłaszczenie podbiegunowe, tak samo jak spłaszcza się kula gliniana, na kółku garncarskiem w szybki ruch wirowy wprawiona. Różne bowiem punkty takiej kuli, niejednakowo od osi obrotu oddalone, biegną z niejednakową szybkością; na jej przeto równiku, czyli w miejscach bardziej od osi odległych, wzbudza się siła odśrodkowa największa; punkty tam położone najznaczniej od osi odbiegają, wskutek czego kula przybrać musi postać spłaszczoną, postać elipsoidy obrotowej, inaczej sferoidy. A właśnie płynna, przynajmniej plastyczna pierwotnie ziemia w takich samych znajdowała się warunkach; ruchliwe, swobodne między sobą jej cząstki ulegać mogły wpływowi siły odśrodkowej, wzbudzonej jej obrotem; ziemia musiała się pod równikiem wydąć a spłaszczyć pod biegunami, i z kuli zmienić się na sferoidę obrotową.

Tak rozumował Newton, a na zasadzie teoretycznych wywodów, opierając się na szybkości obrotu ziemi, obliczył nawet spłaszczenie ziemi na $^1/_{230}$.

Inny znakomity fizyk i matematyk ówczesny, Huyghens, podzielił ten pogląd, ale rachunek jego, z nieco odmiennych

zasad o wewnętrznej budowie ziemi wychodzący, doprowadził do ułamku $^1/_{578}$ na owo przypuszczalne spłaszczenie.

Nie wszyscy jednak uczeni przystawali na zdanie dwu wielkich matematyków. W początkach mianowicie ośmnastego wieku, w ciągu lat 1700 — 1710 astronomowie La Hire i Cassini przedłużyli pomiar Picarda na północ do Dunkierki i na południe do Perpignan u Pireneów; na znacznej tej przestrzeni długość stopnia nie wszędzie okazała się jednakową; na krańcu południowym 57098, na północnym 56960 toazów. Niezgodność ta była rezultatem owych błędów, które się utaiły na niewielkiej linii, zmierzonej przez Picarda, a obecnie silnie się uwidoczniły. Cassini jednak, uważając rezultat ten za zupełnie wiarogodny, wniósł stąd, że ziemia jest w kierunku swej osi wydłużoną, że zatem spłaszczenie przypada nie pod biegunami, lecz na równiku, czyli że ziemia ma postać jajowatą.

W ten sposób wszczął się zacięty spór naukowy, tyczący się już nie wielkości ziemi, lecz jej postaci, i dający się streścić w pytaniu: cytryna czy pomarańcza?—do jednej lub drugiej bowiem z tych postaci da się porównać ziemia, wydłużona lub spłaszczona pod biegunami.

Rozstrzygnięcie tego zasadniczego sporu zawdzięczamy znowu akademii paryskiej. Dla rozjaśnienia wątpliwości co do miejsca spłaszczenia ziemi należało przedsięwziąć pomiary w dwu miejscach, jak najbliższych bieguna i równika. Gdyby bowiem ziemia była kulą istotną, długość jednego stopnia południka byłaby na każdem miejscu taką samą; co innego wszakże, jeżeli nie jest ona wszędzie jednakowo skrzywiona. Wtedy, posuwając się po południku, aby dostrzedz zmianę wysokości gwiazdy o 1° na niebie, trzeba będzie na ziemi przebiedz przestrzeń większą w tych stronach, gdzie jest bardziej spłaszczoną, aniżeli tam, gdzie jest silniej skrzywioną; to znaczy, że w okolicy spłaszczonej stopień południka musi być dłuższym, aniżeli w stronie bardziej skrzywionej. Trzeba zatem było zmierzyć długość stopnia w okolicy równika i w oko-

licy bieguna; w tym celu udała się w roku 1735 komisya astronomiczna, wyznaczona przez akademię, do Peru, w roku zaś następnym podążyła druga w strony podbiegunowe do Laponii. Druga ta komisya lapońska, w której skład wchodzili Maupertuis, Clairaut, Camus, Lemonnier, i do której przyłączył się astronom szwedzki Celsius, zmierzyła od Tornea do Kittis łuk niewielki (0^0 57′ 28,5″) i pracę swą ukończyła już na wiosnę 1737.

Komisya peruwiańska, złożona z Bouguera, Lacondamine'a i Godina, rozpostarła sieć swoich trójkątów bardzo blizko równika, na północnej jego stronie, a że napotkano tam znaczne przeszkody z powodu chropowatości gruntu, zarazem zaś zmierzono łuk znacznie większy (3^0 7′ 14″), od Quito do Cuença, ukończono ten pomiar daleko później, dopiero w sierpniu 1739 [1]).

Z pomiarów tych, w zestawieniu z dawniejszym pomiarem Picarda, okazuje się długość jednego stopnia:

w Peru. .	56750	toazów	(110608	metrów)
we Francyi	57060	„	(111212	„)
w Laponii	57438	„	(111949	„)

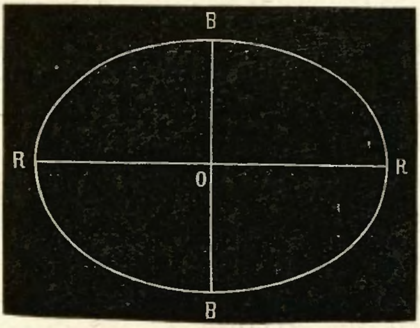
Widzimy więc jasno, że długość stopnia południka wzrasta w miarę, jak przesuwamy się od równika ku biegunowi, i nim jeszcze pomiary peruwiańskie były ukończone,

---

[1]) Pomiar peruwiański był uważany w swoim czasie za nadzwyczaj dokładny. Rzeczywiście, ostatnia linia sieci trójkątów, odpowiadająca linii *JB* (fig. 6, str. 22), według zmierzenia bezpośredniego miała długość 5259 t.; rachunek zaś trygonometryczny, oparty na długości podstawy (6273 t.), okazał długość o sążeń mniej, co znaczy, że różnica stanowiła około $^1/_{5000}$ tej linii krańcowej. O ile od tego czasu postąpiła dokładność robót, okazuje się stąd, że obecnie wymaganą jest ścisłość przynajmniej $^1/_{100000}$, a przy znakomitym pomiarze hiszpańskim z r. 1865 otrzymano błąd wynoszący zaledwie $^1/_{5850000}$, to jest długość obliczona podstawy, 14500 metrów, różniła się od rzeczywistej mniej, niż o 3 milimetry.

mógł już 13 listopada 1737 Maupertuis oświadczyć akademii nauk, że ziemia jest spłaszczoną pod biegunami; gdy zaś w r. 1750 Lacaille poznał, że i w pobliżu Przylądka Dobrej Nadziei stopień południka dłuższy jest niż pod równikiem, zwycięstwo Newtona i Huyghensa było stanowcze, a odtąd szło już tylko o ściste wyznaczenie tego spłaszczenia.

Należy i nam jednak określić ściślej, co przez spłaszczenie ziemi rozumieć mamy. Gdy ziemia przestała być kulistą, tem samem i południki nie są okręgami, lecz elipsami, i promień równikowy *RO* (fig. 7) nie jest już równy promieniowi biegunowemu *BO*. Pomiary, o których dalej mówić będziemy, wykazały, że długość pierwszego wynosi prawie 859, drugiego 856 mil geograficznych. Znaczy to, że od bieguna do środka ziemi jest o 3 mile bliżej, aniżeli od któregokolwiek punktu równika. Różnica ta 3 mil nie daje wszakże pojęcia jeszcze o spłaszczeniu ziemi, gdyby bowiem ziemia była bryłą większą, aniżeli jest rzeczywiście, trzy te mile odegrywałyby rolę podrzędniejszą, gdyby była mniejszą, miałyby znaczenie wybitniejsze. Wynika stąd, że przez spłaszczenie ziemi rozumieć trzeba stosunek powyższej różnicy do wymiarów całej bryły, a w szczególności do jej promienia, zatem ułamek $^3/_{859}$, który niewiele odstępuje od łatwiejszego do zapamiętania ułamku $^1/_{300}$; powiedzieć tedy można, że skutkiem spłaszczenia ziemi droga do jej środka jest od bieguna o $^1/_{300}$ część krótsza, aniżeli od równika. W ogólności tedy spłaszczenie to wyrazi się przez ułamek $\frac{RO-BO}{RO}$. Zaledwie dodać tu trzeba, że przy dochodzeniu ogólnej postaci ziemi góry i doliny nie mogą być brane pod uwagę. Wyobrażamy tu sobie ziemię wygładzoną, tak jakby wszelkie



(Fig. 7).

lądy były usunięte, a morze rozprzestrzeniło się po całej bryle ziemskiej; wtedy ta powierzchnia morza stanowiłaby jakby powierzchnię idealnej elipsoidy czyli sferoidy ziemskiej; dlatego to wyniki wszystkich pomiarów sprowadzają się czyli redukują drogą rachunku do powierzchni morza. Nie zapominajmy przytem, że wszelkie wyniosłości i niziny ziemskie są nieznacznemi zaledwie na jej powierzchni nierównościami, zmarszczkami; najwyższe bowiem góry niewiele przenoszą tysiączną część jej promienia.

Jak nieznacznem jest zresztą i samo spłaszczenie ziemi, okazuje się najlepiej z tego, że nie dałoby się ono przedstawić wyraźnie na bardzo nawet wielkim globusie. Gdybyśmy bowiem promieniowi równikowemu nadali wielkość choćby łokcia, to na promień biegunowy wypadnie wziąć długość mniejszą o $1/_{300}$ łokcia, co czyni niespełna jednę linię, czyli dwunastą część cala. Różnicy tak nieznacznej nietylkobyśmy dostrzedz nie mogli, ale same nieuniknione chropowatości i nierówności przy wyrobie kuli wynosić mogą więcej; dlatego sztucznemu wyobrażeniu bryły ziemskiej nadaje się postać kuli.

Nie sądźmy wszakże, aby już na podstawie owych pomiarów z r. 1735 — 1739 spłaszczenie ziemi dokładnie oznaczyć zdołano; okazuje się to już stąd, że z zestawienia pomiarów francuskich z lapońskiemi otrzymano liczbę $1/_{145}$, a francuskich z peruwiańskiemi $1/_{340}$. Już sama ta niezgodność dodała bodźca do dalszych prac, a w drugiej połowie ośmnastego stulecia, dzięki zwłaszcza zabiegom uczonego Jezuity Boskowicza, przeprowadzono kilka pomiarów południka nietylko w Europie, lecz i w Azyi i w Ameryce; z powodu wszakże niedokładności narzędzi prace ówczesne nie mogły jeszcze być tak ścisłe, by się do rozstrzygnięcia kwestyi przyczynić zdołały.

10) Układ miar metrycznych.

U samego dopiero schyłku zeszłego stulecia sprawa pomiarów ziemi przybiera zwrot pomyślniejszy. Szczęśliwym zbiegiem kwestya wielkości i postaci ziemi połączyła się tym razem z zadaniem czysto praktycznem, pod którego znamieniem zdobyła sobie poparcie żywsze i silniejsze. Szło wtedy o zastąpienie miar dawniejszych, niedogodnych i dowolnych, miarami prawidłowemi i uzasadnionemi.

«Ktokolwiek zastanawia się, mówi Laplace, nad olbrzymią liczbą miar używanych, nietylko u różnych ludów, lecz nawet u jednego narodu, nad ich podziałami dziwacznemi i do rachunku niedogodnemi, nad trudnością poznania ich i porównywania, ten zgodzić się musi na to, że jedną z największych usług, jakąby rządy oddać mogły społeczeństwu, byłoby przyjęcie układu miar, którychby podziały nadawały się jak najłatwiej do rachunku i któreby, w sposób jak najmniej dowolny, wyprowadzały się z miary zasadniczej, przez samą przyrodę wskazanej.»

Komisya, której akademia nauk na zlecenie zgromadzenia ustawodawczego, rządzącego podówczas Francyą, powierzyła opracowanie nowego układu miar, a do której należeli najznakomitsi ówcześni uczeni—Borda, Lagrange, Laplace, Monge i Condorcet, idąc za dawną radą astronoma Gabryela Mouton'a jeszcze z r. 1670, postanowiła za ową zasadniczą jednostkę miar długości przyjąć pewną oznaczoną część południka ziemskiego, a tą drogą nowe zadanie wprowadzenia miar powszechnych powiązało się z badaniami postaci ziemi.

Długość południka można było wprawdzie wyprowadzić z pomiarów dawniejszych, «ale, mówi znowu Laplace, gdy nowy pomiar łuku większego jeszcze, dokonany na zasadach dokładniejszych, powinien był na korzyść nowego układu miar i wag wzbudzić zajęcie powszechne, postanowiono zmierzyć łuk południka między Dunkierką a Barceloną.»

Jest to ten sam sławny południk paryski, którego drobny łuk mierzył niegdyś Picard, tak, że nowy ten, trzeci pomiar francuski stanowi przedłużenie dwu pierwszych. Pracę tę z polecenia konwencyi narodowej rozpoczęto w roku 1792 i, pomimo ówczesnych burz rewolucyjnych, szczęśliwie dokonano pod przewodnictwem akademików Méchaina, Bordy i Delambre'a. Południowy kres tego pomiaru stanowiła Barcelona, ale następnie w r. 1806 — 1808 Biot i Arago posunęli trójkątowanie dalej, aż do Formentery; obszerność przeto zmierzonego łuku wynosi $12^0\ 22'\ 33''$; jest to część południka, przebiegająca całą Francyę i sięgająca poza Hiszpanię, aż na morze Śródziemne.

Wynik tych pomiarów przyjęto z zupełnem zaufaniem w dokładność dokonanych robót, bo też najznakomitsi matematycy i mechanicy, których ówczesna Francya tak wielu posiadała, przyczynili się do spełnienia tego olbrzymiego zadania. Kątomiary (teodolity) znacznie udoskonalono; ale baczniejszą jeszcze uwagę zwrócono na pręty, służące do zmierzenia podstawy. Dawniej używano prętów drewnianych lub łańcuchów stalowych, a proste te narzędzia, pomimo wszelkich ostrożności, nie mogły dawać rezultatów zupełnie rzetelnych, dlatego głównie, że jak wiadomo, długość wszystkich ciał ulega zmianie wraz z temperaturą; oznaczano wprawdzie temperaturę miar za pomocą termometrów, ale któż mógł ręczyć, że rtęć termometru posiada zupełnie tę samą temperaturę co pręt, którego termometr dotykał? Pręty miernicze, użyte do pomiaru, o którym teraz mówimy, a obmyślone przez Bordę, stanowiły liniały podwójne, z których jeden był platynowy, a drugi miedziany; oba pręty były w jednym końcu ściśle zeszrubowane, a dalej swobodnie obok siebie ułożone, tak, że wydłużały się pod wpływem temperatury, niezależnie jeden od drugiego; ponieważ zaś rozszerzają się niejednakowo, można było z różnicy ich długości oznaczyć dokładnie ich temperaturę,—pręt mierniczy stanowi tu zarazem i termometr.

Opierając się na rezultatach tego pomiaru i na znanem z prac dawniejszych spłaszczeniu ziemi, oznaczono długość ćwiartki południka ziemskiego na 5,130,740 dawnych sążni paryskich (toazów), które pozostały i nadal jednostką do pomiarów ziemi używaną. Rezultat ten, jeszcze przed zupełnem ukończeniem całego pomiaru, przedstawiono ciału prawodawczemu, które postanowieniem 4 messidora r. VII (22 czerwca 1799) przyjęło za zasadniczą jednostkę miar długości, za jeden *metr*, dziesięciomilionową część ćwiartki południka ziemskiego (0.513.074 sąż. par., czyli 443,296 linii paryskich).

W ten sposób zgromadzenie narodowe francuskie ogłosić mogło, że obdarza świat jednostką miar niezmienną, bo wziętą z samej przyrody, jednostką, którąby stokrotnie zatracona, mogła być znowu odnalezioną po tysiącach i setkach tysięcy lat. Na nieszczęście, piękny ten zamiar zupełnie spełnionym nie był, bo pomimo nadzwyczajnej dokładności pracy, pomiar ten francuski nie jest wolny od drobnych błędów, tak, że metr ustanowiony w r. 1799, metr urzędowy (*mètre des archives,* stąd, że ten metr legalny przechowywanym jest w archiwum państwa francuskiego) nie jest dokładnie, jak to zobaczymy, dziesięciomilionową częścią ćwiartki południka ziemskiego. Nie uwłacza to wszakże zgoła zasłudze uczonych francuskich i doniosłości ich pracy. Zaleta bowiem miar metrycznych polega nie na doborze zasadniczej ich jednostki, lecz raczej na ich podziale dziesiętnym, a więcej jeszcze na tem, że wszystkie inne miary—powierzchni, objętości i ciężarów związane są z zasadniczą jednostką długości, z metrem.

II) Pomiary nowsze.

Drogą utorowaną przez prace francuskie zajęto się w bieżącem stuleciu sprawą pomiarów ziemi gorliwie i w innych krajach. Szczególnie ważnym, już z powodu samej długości zmierzonego łuku południka, od Hamerfestu na krańcu Skan-

dynawii aż do ujść Dunaju, jest pomiar w Rosyi, dokonany pod kierunkiem znakomitego astronoma Struvego. Godnym też uwagi jest pomiar pruski, przeprowadzony przez sławnego kierownika obserwatoryum królewieckiego, Bessla, na południku od Trunz do Kłajpedy czyli Memla; Bessel bowiem uzupełnił teoryę pomiarów i podał dokładniejsze metody obliczeń.

Gdyby ziemia była płaską, linie na niej poprowadzone byłyby proste, a utworzone z nich trójkąty byłyby płaskie, tak jak figury kreślone na papierze; gdyby znów była zupełną kulą, to najkrótsza odległość między dwu na niej obranemi punktami stanowiłaby łuk wielkiego okręgu, przechodzącego przez te punkty, a trójkąty na ziemi byłyby kulistemi. Ale ziemia nie jest kulą, ma postać do kuli tylko podobną, t. j. sferoidalną, i trójkąty przeto na niej nakreślone nie są rzeczywiście kuliste, ale sferoidalne; boki tych trójkątów nie są łukami kół, lecz liniami daleko bardziej zagmatwanemi, liniami o podwójnej krzywiźnie, które nazywamy *geodetycznemi,* albo *liniami najkrótszemi,* dlatego, że wskazują najkrótszą odległość dwu punktów na ziemi. W obiegu swoim linia taka wije się spiralnie dokoła ziemi, co znaczy, że gdybyśmy ją przedłużyli dalej około ziemi, tak, aby wróciła do równoleżnika, z którego wyszła, to, w ogólności, nie napotka już punktu, od którego bieg jej się rozpoczął, ale przetnie równoleżnik ten w innem miejscu, pod inną długością geograficzną. Dzieło Bessla i Baeyera o tym pomiarze pruskim stanowi jakby podręcznik, według którego prace te najczęściej się prowadzą.

Nie na tem wszakże tylko ogranicza się zasługa Bessla, jemu też bowiem zawdzięczamy pierwsze dokładne obliczenie wymiarów ziemi, oparte na skombinowaniu wszystkich pomiarów, dokonanych przed rokiem 1842.

Z obliczeń tych okazało się, że ćwiartka południka wynosi 5.131.180 sążni parys., co po zredukowaniu na długość metra legalnego czyni 10.000.856 metrów, gdy według znaczenia tej jednostki długości winno ich być w ćwiartce południka okrągłe 10.000.000; metr zatem urzędowy, ściśle mówiąc, nie

jest miarą zupełnie naturalną: jest to, w istocie rzeczy, długość również dowolna, jak i każda inna jednostka miar. Pomimo to wprowadzony został bez zmiany i do innych krajów, które przyjęły układ miar metrycznych, poznano bowiem, że osiągnięcie miary zupełnie naturalnej jest rzeczą niemożebną.

Według tychże rachunków Bessla, spłaszczenie ziemi wynosi $\frac{1}{299}$; w miarę jednak, jak nowe przybywały pomiary, rzetelność tej liczby została zachwianą, a spłaszczenie ziemi okazało się większem, wynosi ono mianowicie według Fischera (1868) i Listinga (1872) $\frac{1}{289}$.

Występowały zresztą inne jeszcze sprzeczności i anomalie: długość stopnia, wypadająca z pomiaru Bessla, wynosi pod 55^0 średnio 57.145 toazów, gdy z pomiarów Struvego pod 56^0 długość ta czyni tylko 57.137, jest przeto mniejszą od pierwszej, gdy tymczasem, jako w miejscu bardziej odległem od równika, z powodu spłaszczenia ziemi, winnaby być większą; podobnaż różnica okazała się między pomiarem hanowerskim a angielskim. Wszystkich tych sprzeczności niepodobna rzucać na karb błędów, źródło ich tkwić tedy musi w pewnych odstępstwach postaci ziemi od prawidłowości, jaką jej przyznano.

Od czasów Newtona podstawą wszystkich prac nad oznaczeniem postaci ziemi było przypuszczenie, że jest ona elipsoidą obrotową, czyli bryłą, którą wyobrazić sobie można jako utworzoną przez obrót połowy elipsy dokoła jej małej osi. W przypuszczeniu takiem wszystkie południki są elipsami, równoleżniki zaś dokładnemi okręgami kół. Otóż przypuszczenie to może być błędnem, niedostatecznem; być może, że i równoleżniki wraz z równikiem odstępują od dokładnej postaci kołowej, że i one, podobnie jak południki, są elipsami, że zatem równik nie wszędzie od środka ziemi jednakowo jest oddalony; w takim razie wszystkie jego promienie nie byłyby zupełnie między sobą równe, czyli, krótko mówiąc, i równik przedstawiałby pewne spłaszczenie. Posiadałby on tedy oś swą wielką i oś małą, a wraz z osią biegunową miałaby ziemia,

nie dwie, lecz trzy osie różne, i byłaby bryłą o trzech osiach, elipsoidą trójosiową.

Domysł ten poddał rachunkowi Clarke, starając się wynaleźć wymiary ziemi w przypuszczeniu, że jest ona w samej rzeczy elipsoidą trójosiową. Obliczenia swe zmieniał i przerabiał kilkakrotnie, a ostatecznie wykończył je w r. 1878. Wypływa z nich, że oś wielka równika przecina ziemię w zatoce Gwinejskiej i w Polinezyi zachodniej, czyli innemi słowy, że okolice te najbardziej są od środka ziemi oddalone, że tam znajduje się największe nabrzmienie równika; oś zaś mała przechodzi w pobliżu Cejlonu i w pobliżu Panamy, czyli, że w tych punktach występuje spłaszczenie równikowe. Ale spłaszczenie to równikowe wynosi zaledwie $\frac{1}{45}$ część spłaszczenia biegunowego, co znaczy, że różnica między największym a najmniejszym promieniem tego eliptycznego równika czyniłaby zaledwie około 1,500 stóp. Liczby te wskazują jasno, jak dalece postąpiła dokładność pomiarów ziemi, a jeżeli mówimy o sprzecznościach i niepewnościach, to widzimy, jakich one drobiazgów zaledwie dotyczą.

Przypuszczenie to o spłaszczeniu równikowem ziemi miało przez pewien czas rozgłos, pod naciskiem wszakże mnożących się trudności ostać się nie mogło. Okazywało się coraz wyraźniej, że ziemia odstępuje od formy doskonałej sferoidy obrotowej, ale też nie odpowiada zupełnie i elipsoidzie trójosiowej. Na to tylko trzeba się było zgodzić, że usiłowania dotychczasowe nie były dostateczne.

Rzeczywiście, dopóki południki uważano za linie równe między sobą, a równoleżniki za doskonałe okręgi kół, do dokładnego oznaczenia postaci i wielkości ziemi starczyć mogły jedynie pomiary południków; skoro wszakże postać obrotowa ziemi popadła w wątpliwość, odwołać się trzeba koniecznie i do pomiaru równoleżników.

Pomiar łuku równoleżnika, podobnie jak i południka, obejmuje część astronomiczną i mierniczą czyli geodezyjną; ta ostatnia ma na celu oznaczenie długości tego łuku w mia-

rach linijnych i polega na trójkątowaniu, nie różni się zatem niczem od takichże robót przy pomiarach południka, pomocy zaś astronomii znowu tu wezwać potrzeba dla oznaczenia, ile stopni wynosi ten łuk zmierzony. Dostrzegamy łatwo, że idzie tu o oznaczenie, o ile stopni długości różnią się krańcowe punkty tego łuku, gdy przy pomiarach południków dochodzić trzeba szerokości geograficznych. Otóż, jak poznamy następnie, dokładne oznaczenie długości geograficznej połączone jest z trudnościami daleko większemi, aniżeli oznaczenie szerokości, dlatego też pomiary równoleżników z dostateczną ścisłością w ostatnich dopiero czasach zdołano przeprowadzić. Najrozleglejszy mianowicie pomiar długości dokonany został w latach 1857 — 72, za podnietą Struvego, wzdłuż równoleżnika 52^0, od Walencyi na wybrzeżu zachodniem Irlandyi, aż do Orska na granicy Europy i Azyi, w gubernii Orenburskiej; łuk ten obejmuje zatem przeszło 69^0. Równoleżnik 52^0 przebiega zaledwie o 13′ na południe Warszawy, a pamiątkę tego pomiaru stanowi na placu teatralnym w Warszawie pręt żelazny, wskazujący kierunek południka warszawskiego.—Wspomnieć tu też należy o pomiarze równoleżnika w Indyach, między 72^0 a 83^0 dług. wsch. względem Greenwich, (1872 — 1877), który posłużył Clarkemu do wyprowadzenia przytoczonych wyżej wymiarów ziemi, uważanej za elipsoidę trójosiową.

12) Wahadło, jako przyrząd geodetyczny.

Jeżeli idzie o znalezienie wielkości ziemi, jedyną drogę jej oznaczenia stanowią pomiary; gdy wszakże mamy na celu wyłącznie tylko dochodzenie jej postaci, a raczej spłaszczenia, to do tak ograniczonego celu posłużyć nam może ów prosty przyrząd fizyczny, który pierwszy kazał się tego spłaszczenia domyśleć.

Widzieliśmy, że jedno i to samo wahadło kołysze się najwolniej na równiku, ruchy zaś jego stają się szybsze w miarę

zbliżania się ku biegunom; wahadło, któreby na równiku, na poziomie morza, dokonywało w ciągu dnia 86.400 wahnięć (któreby tam przeto było sekundowem), odbywa ich w Warszawie (również odniesione do powierzchni morza) o 140, a na biegunie o 224 więcej. Wiemy już, że jest to następstwem niejednostajnego na ziemi działania siły ciężkości, której największe natężenie przypada na biegunach, najsłabsze na równiku.

Wiemy też, że tego wzrostu siły ciężkości, w miarę przesuwania się od równika ku biegunowi, dwie są przyczyny. Jedną jest siła odśrodkowa, dążąca do oderwania ciał od ziemi, przeciwdziałająca zatem jej przyciąganiu, i która jest najznaczniejszą na równiku, a nie występuje zgoła na biegunach. Drugą stanowi spłaszczenie ziemi; pod względem bowiem przyciągania działa ona tak, jak gdyby cała jej masa skupioną była we środku; obszary zatem biegunowe, znajdujące się bliżej tego środka, doznają działania silniejszego, aniżeli dalej od niego położona okolica równikowa.

Ponieważ zaś znamy szybkość obrotu ziemi naokoło osi, obliczyć można w każdem miejscu działanie siły odśrodkowej, a tem samem wpływ jej na działanie siły ciężkości; ocenić zatem możemy i udział, jaki tu przypada spłaszczeniu ziemi. W ten to sposób obserwacye wahadła posłużyć mogą do oznaczenia wielkości spłaszczenia biegunowego.

Już w czasie pomiarów peruwiańskich Bouguer używał w tym celu wahadła, a lubo wyniki otrzymane tak z jego, jak i z następnych badań nie były zgodne z rezultatami pomiarów południka, nie zrażono się tem wszakże i prowadzono badania te w różnych stronach ziemi. Za przykładem kapitana marynarki angielskiej Katera, 1816, inni dowódcy okrętów obserwowali bieg wahadła na wielu dalekich wybrzeżach. Na najrozleglejszą jednak skalę i z pożądaną dokładnością prace te prowadził w latach 1822—23 Edward Sabine; na okręcie wojennym, danym do jego rozporządzenia przez rząd angielski,

przebiegł on morza od równika aż do Szpicbergu, oznaczając w kilkunastu miejscach długość wahadła sekundowego.

Według obliczeń, przeprowadzonych przez Listinga i przedstawionych towarzystwu naukowemu getyngeńskiemu 1877, za wypadek średni wszystkich dotychczasowych obserwacyi wahadła przyjąć można na spłaszczenie ziemi liczbę $\frac{1}{288,48}$. Wynik ten nietylko się różni od rezultatu otrzymanego drogą pomiarów $\frac{1}{289}$, lecz i różne obserwacye oddzielne dosyć znacznie odstępują od powyższej liczby średniej.

Wahadło, jak już wiemy, kołysze się prędzej tam, gdzie natężenie siły ciężkości jest większe. Na natężenie to ma zaś wpływ nietylko działanie całej ziemi, ale silnie ujawnić muszą wpływ swój okolice najbliższe miejsca, w którem się dostrzeżenia prowadzą. Można przeto z góry przewidywać, że na stacyi śródlądowej, otoczonej dokoła gruntami stałemi, ciężkiemi, natężenie siły ciężkości winno być znaczniejszem, niż na małych wyspach, śród rozległych mórz, zatem oblanych wodą, której gęstość jest $2\frac{1}{2}$ raza mniejszą od średniej gęstości mas, stanowiących skorupę ziemską. Wbrew jednak tak uzasadnionemu oczekiwaniu, ruch wahadła zdradza w ogólności znaczniejsze działanie przyciągania ziemskiego na wyspach, niż na lądach.

Sprzeczność ta prowadzi do wniosków bardzo ciekawych. Jak to w r. 1868 okazał Fischer, powierzchnia morza nie przedstawia postaci prawidłowej kuli albo raczej elipsoidy, czyli, innemi słowy, morze nie posiada jednakiego poziomu, jak to w ogóle przywykliśmy sobie wyobrażać; w skutek mianowicie przyciągania wywieranego na wodę przez lądy, wznoszące się znacznie nad dno oceanu, woda musi się na wybrzeżach podnosić, więcej lub mniej, zależnie od rozległości lądu i od gęstości pokładów, z których jest zbudowanym, tak jak podnosi się ona i obok ścian naczynia szklanego, lubo zjawisko to następuje tu z przyczyny nieco odmiennej. Wzdłuż przeto wybrzeży woda występuje nad powierzchnię prawidłowej elipsoidy ziemskiej, co znów w środkowych okolicach oceanu

sprowadza zaklęśnięcie się jej, tak jakby była obniżoną pod tę powierzchnię idealną. Powierzchnia zatem morza nie jest wszędzie jednakowo od środka ziemi odległą, a różnica między wysokością poziomu morskiego w pobliżu lądów, a wysokością jego w stronach dalszych, dochodzi kilkuset i więcej stóp. Wahadło przeto, zawieszone na lądzie stałym lub na jego wybrzeżu, znajduje się dalej od środka ziemi, niż wahadło umieszczone na małej, morskiej wysepce; pomimo tedy sąsiedztwa mas ciężkich ulega słabszemu już przyciąganiu i kołysze się wolniej. Sprawa ta nie jest jeszcze dostatecznie wyjaśnioną i wymaga dalszych badań; widzimy jednak z tego, jak czułym przyrządem mierniczym jest wahadło i jak niezbędną pomoc przynosić może szczegółowej topografii bryły ziemskiej.

13) Geoida.

Uwagi ostatnie, które dokładnie rozwinął zwłaszcza Fischer (1868) w krytycznej ocenie usiłowań dotychczasowych nad oznaczeniem postaci ziemi, wskazują, że nawet powierzchnia oceanów odstępuje od formy dokładnej sferoidy obrotowej, źródła zaś tych odstępstw szukać należy przedewszystkiem we wpływie lądów. Widzieliśmy (§ 11), że chciano postać ziemi sprowadzić do elipsoidy trójosiowej, zarzucono jednak ten pomysł, skoro poznano, że i do tej formy pewne nieprawidłowości powierzchni ziemi nie lepiej nagiąć się dadzą, aniżeli do elipsoidy obrotowej, dwuosiowej. Zgodzono się więc, że i sama powierzchnia oceanu nie przedstawia zgoła jednostajnej, prawidłowej postaci, którąby się ująć dała w ściśle określoną formę matematyczną. Wyobraźmy sobie ową nieregularną powierzchnię oceanu rozprzestrzenioną kanałami pomiędzy wszystkie lądy, a bryła ta wodna przedstawiałaby nam istotną postać ziemi, bez względu na wygięcia lądu. Do pokrzywionej tej bryły nie można odnieść żadnej nazwy geometrycznej, a Listing (1873) zaproponował dla niej nazwisko

odrębne *geoidy,* jakby właściwej bryły ziemskiej; nazwę tę przyjęto powszechnie, lubo określeniu powyższemu geoidy Bruns nadał ściślejszą formę matematyczną. Wyobrazić sobie w każdym razie można postać geometryczną sferoidy, któraby wymiarami swemi jak najdokładniej przystawała do owej właściwej bryły ziemskiej, chociaż ta ostatnia w jednych miejscach wznosić się nad nią, w innych pod nią zagłębiać będzie. Oznaczenie tej sferoidy nie może być jednak ostatecznym celem pomiarów ziemi, bo, jak to słusznie Listing uważa, nie owa sferoida jest głównym przedmiotem badań geometrycznych ziemi, ale właśnie geoida z całem jej powikłanem ukształtowaniem, i gdy będą oznaczone główne odstępstwa od owej idealnej formy geometrycznej, przyjdzie kolej na drobne zboczenia miejscowe.

Dla osiągnięcia celu tego, jak łatwo wnieść można, potrzebną jest znajomość zarówno południków, jak i równoleżników w jak największej liczbie miejsc na ziemi. Z inicyatywy tedy generała Baeyera, dawnego współpracownika Bessla ze słynnych jego pomiarów, zajął się gorliwie olbrzymiem tem zadaniem rząd pruski i wezwał rządy państw innych do udziału w pracach, mających na celu dokładne zbadanie postaci naszej ziemi.

Projekt ten chętnie był przyjęty, a dla przeprowadzenia go utworzono komisyę międzynarodową, złożoną z siedmiu członków. Prace posuwają się szybko, pomiary dawne uzupełniają się i łączą z nowemi, a Europa cała pokrywa się gęstą siecią trójkątów geodetycznych. Donioslość tych prac polega nietylko na ich obszernym zakresie, na ścisłości postępowania, na ujednostajnieniu i udoskonaleniu narzędzi do pomiarów używanych, ale więcej jeszcze na tem, że zwrócono baczną uwagę na niektóre okoliczności, niedostatecznie przy dawnych pracach uwzględniane.

Wspomnieliśmy już wyżej, że wszystkie prace geodezyjne odnoszą się do powierzchni przypuszczalnej, idealnej, jakąby ziemia posiadała, gdyby lądów nie było, a cała jej po-

wierzchnia pokrytą była morzem; dla takiego przenoszenia trójkątów geodezyjnych na powierzchnię morza potrzebną jest dokładna znajomość wzniesienia różnych punktów ziemi nad poziom oceanu, którą się osiąga przez prace niwelacyjne czyli przez poziomowanie. Dlatego komisya międzynarodowa szczególną uwagę zwróciła na dokładność tych robót, nastając zarazem na konieczność odnoszenia wszystkich pomiarów do jednego poziomu, jakeśmy to bowiem wyżej poznali, powierzchnia morza nie wszędzie jednakową posiada wysokość; z poziomowań np. francuskich wypada, że pod Marsylią średni stan morza przypada o 1,02 metra niżej, aniżeli oceanu Antlantyckiego pod Brestem, a o 1,09 metra niżej, aniżeli Baltyku pod Swinemünde, co się okazało z połączenia pomiarów niemieckich z francuskiemi. Jak się zdaje, morze Śródziemne ma poziom niższy, aniżeli inne morza, brzegi Europy oblewające.

Niemniejszy nacisk kładzie komisya międzynarodowa na badanie natężenia i kierunku siły ciężkości w jak największej liczbie punktów na ziemi. Natężenie siły ciężkości, jak widzieliśmy, oznacza się z szybkości kołysań wahadła; kierunek zaś, w jakim ona działa, wskazuje nam kierunek pionu. Ponieważ ziemia pod względem swego przyciągania działa tak, jakby cała jej masa w jej środku skupioną była, dlatego pion w ogólności zwraca się ku środkowi ziemi; w wielu jednak punktach on zbacza, odchyla się od tego prawidłowego kierunku. Odchylenie to pionu nie daje się dostrzedz bezpośrednio, bo właśnie tylko z kierunku nitki dźwigającej ciężarek oznaczyć możemy kierunek pionowy; odchylenie pionu można tedy rozpoznać jedynie drogą porównawczą. Położenie mianowicie danej miejscowości, zatem jej długość i szerokość geograficzną, oznaczyć można dwojako, — albo bezpośrednio, zwykłemi metodami astronomicznemi, o których bliżej opowiemy następnie, albo też obliczyć je możemy z pomiarów geodetycznych, jeżeli znamy odległość tej miejscowości od innego punktu astronomicznie wyznaczonego. Jeżeli oba te

wypadki okazują się niezgodnemi, domyślać się należy jakiejś nieprawidłowości w kierunku pionu; przy ustawianiu bowiem narzędzi mierniczych oryentujemy się kierunkiem pionu, wszelkie przeto jego zboczenie odzwierciadlać się musi w rezultatach oznaczeń astronomicznych. Względy te wskazują jasno ważność badań pionu.

Przyczynę tych zboczeń miejscowych, lokalnych, stanowi przedewszystkiem wpływ gór sąsiednich, które ciężarek pionu ku sobie pociągają, jak to zauważono obok Kordyljerów, w Szwajcaryi, Szkocyi, na Kaukazie, gdzie rozległe nad tą rzeczą badania prowadził zasłużony nasz rodak H. Stebnicki; ale dostrzeżono też odchylenie pionu w okolicach zupełnie płaskich, gdzie zgoła o działanie to gór winić nie można, między innemi w pobliżu Moskwy. W tych razach domyślać się trzeba wpływu pokładów podziemnych, sąsiedztwa może rud jakich metalicznych, które tu powiększają średnią gęstość skorupy ziemskiej, lubo mogą działać i w kierunku przeciwnym znaczne jakieś wydrążenia w wierzchnich warstwach ziemi.

Gdy przeto idzie o oznaczenie postaci ziemi, należy unikać punktów, w których działanie siły ciężkości okazuje kierunek nienormalny; natomiast jednak zboczenia takie pionu zdradzają odstępstwo krzywizny ziemi od postaci prawidłowej i pozwalają nawet wysnuwać domysły o wewnętrznej budowie skorupy; dlatego badania te mogą oddać ważne usługi nietylko topografii szczegółowej, lecz i fizyce kuli ziemskiej.

Taka jest historya usiłowań, jakie w ciągu dwu tysiącoleci łożył człowiek na poznanie postaci planety, zamieszkiwanej przez niego. Widzieliśmy, jak z biegiem czasu przeinaczała się ta postać w jego pojęciach, a wraz z przeobrażeniem tych pojęć zmieniało się i zadanie, które za pomocą pomiarów ziemi osiągnąć zamierzano. Pierwotnie szło tylko o zebranie dowodów kulistości ziemi, następnie o oznaczenie jej wymiarów. Gdy wzbudziła się wątpliwość o jej zupełnej kulistości, starano się znaleźć okolicę, w której podejrzewane spłaszczenie przypada, poczem znów usiłowano wykryć wielkość tego spła-

szczenia. Pomiary coraz dokładniejsze wykazały odstępstwo postaci ziemi od elipsoidy obrotowej czyli sferoidy i nasunęły domysł o drugiem, równikowem jej spłaszczeniu. I to jednak przypuszczenie elipsoidy trójosiowej okazało się niedostatecznem, i zgodzono się, że dla wyszukania właściwej postaci bryły ziemskiej, czyli geoidy, pomiary przeprowadzić trzeba po całej jej powierzchni. Zadanie to przedstawia się w zarysach tak rozległych, że ostateczne jego spełnienie usuwa się w przyszłość daleką i wymaga pracy całych jeszcze pokoleń.

14) Wymiary ziemi.

Jakkolwiek jednak doskonałą znajomością postaci ziemi pochlubić się jeszcze nie możemy, jednakże, na podstawie prac dotychczasowych, wymiary jej ze znaczną już znane nam są dokładnością. Jeżeli idzie o przybliżoną tylko ich ocenę, przyjmować możemy pierwotne określenie metra; według tego południk, czyli innemi słowy obwód ziemi wynosi 40.000.000 metrów, albo 40.000 kilometrów, a uważając ziemię za kulę, według zasad geometryi elementarnej, obliczymy łatwo promień jej, powierzchnię i objętość.

Przy rachunkach dokładniejszych uwzględnić należy spłaszczenie ziemi, co do którego wszakże pozostaje niejaka niepewność, podobnie zresztą, jak co do pewnych innych szczegółów, o których mówiliśmy wyżej; stąd też liczby przez różnych autorów przytaczane niezupełnie są zgodne. Wspomnieliśmy, że pierwotne, dokładne obliczenia zawdzięczamy Besslowi, pomiary późniejsze wymagały przerobienia tych rachunków; podajemy tu rezultaty bardzo ścisłych obliczeń Listinga:

Promień	równikowy	a	=	6.377.365	metrów.
„	biegunowy	b	=	6.355.298	„

Różnica obu	$a\text{-}b =$	22.067 metrów.
Spłaszczenie	$\frac{a-b}{a} =$	$\frac{1}{289}$.
Ćwiartka południka		10.000.218 „
„ równika		10.017.542 „
Stąd wypływa:		
Powierzchnia ziemi		509.950.000 kilometr. kwadr.
Objętość		1.082.841.000.000 kilometr. sześcien.

Kula zatem ziemska obejmuje z górą trylion kilometrów sześciennych, czyli brył mających po tysiąc metrów wzdłuż, wszerz i wzwyż. Według powszechnego jeszcze zwyczaju, do oceny wymiarów ziemi używa się mil geograficznych, których na obwód równika liczy się 5.400, czyli 15 na jeden jego stopień. Takich mil geograficznych promień równikowy obejmuje 859,5, promień biegunowy 856,5, oś zatem ziemska 1.713. Powierzchnia ziemi wynosi 9.260.510 mil kwadratowych, a jej objętość 2.649.900.000 mil sześciennych.

Dodać tu wreszcie wypada, że mila geograficzna wyrównywa 7.420 metrom (na podstawie sferoidy Listinga dokładniej 7.420,4 m.).

Liczby powyższe są wszakże przybliżone tylko, niepewność bowiem nasza co do znajomości całej powierzchni ziemi—znowu według Listinga—stanowi obszar przewyższający pięciokrotnie powierzchnię Sycylii. Dla astronoma promień ziemski stanowi jakby jednostkę, którą się posługuje przy ocenie większych przestrzeni światowych; dla uprzytomnienia go sobie w każdej chwili wystarczy zachowanie w pamięci, że obejmuje on nieco więcej nad 850 mil geograficznych.

ROZDZIAŁ II.

O MASIE I GĘSTOŚCI ZIEMI.

15) Ważenie ziemi.

Rozdział ten poświęcamy poznaniu metod, mających na celu zważenie bryły ziemskiej. W życiu zwykłem, przez ważenie ciała rozumiemy oznaczenie jego ciężaru; moglibyśmy tedy mówić tak samo o ciężarze ziemi, byłoby to wszakże pod względem naukowym wyrażenie nieścisłe. Ciężar bowiem ciała nie jest jego własnością istotną, jest jedynie objawem wpływów zewnętrznych, jest następstwem przyciągania, jakiemu ciało ulega. Ta sama bryła platynowa, która na ziemi wywiera ciśnienie jednego kilograma, ważyłaby na słońcu — jak to poznamy — 27 kilogramów, na księżycu $^1/_6$ kilograma, w znacznej zaś odległości od jakiegokolwiek ciała niebieskiego nie posiadałaby żadnego ciężaru, nie wywierałaby żadnego zgoła ciśnienia. W całej tej przypuszczalnej wszakże wędrówce bryle platynowej nic nie przybywa ani nie ubywa, ilość tej materyi, masa jej pozostaje zawsze jednaką. Ciężar więc jest własnością ciała uboczną, zależną od jego położenia, masa zaś stałą i niezmienną. Przy ważeniu ciał porównywamy wprawdzie ciężary, ale to dlatego tylko, że w jednem i tem samem miejscu na ziemi ciężary ciał są do ich mas proporcyonalne, a tem sam stosunek ciężarów daje bezpośrednio i stosunek mas. Chemikowi, kupcowi, lekarzowi nie zależy zgoła na ciężarze ciała czyli na ciśnieniu, jakie ciało wywiera na podstawę, na której się wspiera; idzie im jedynie o masę, od niej bowiem zależy działalność chemiczna, wartość pieniężna albo skuteczność lekarska. W samej rzeczy zatem wa-

żenie jest to porównywanie mas. W ten sam sposób ważenie ziemi także ma na celu oznaczenie jej masy, a jeżeli niekiedy mówi się o ciężarze ziemi albo innej bryły niebieskiej, to wyrażenie takie nie jest ścisłem i używa się jedynie dlatego, że w ogólności w życiu pospolitem ciężar oznacza masę.

Zamiast zresztą o masie ziemi, mówi się zwykle tylko o jej gęstości, to jest podaje się liczbę wskazującą, ile razy ziemia gęstszą jest, aniżeli woda. Rozumie się zresztą, że może tu być mowa jedynie o gęstości średniej; ziemia jest bowiem nagromadzeniem najrozmaitszych materyałów, z których znamy te zaledwie, co stanowią zewnętrzną jej skorupę. Podawanie gęstości ziemi zamiast jej masy przynosi nam tę korzyść, że unikamy liczb olbrzymich, jakiemiby się wyrażała masa ziemi w kilogramach lub centnarach. Znana gęstość ziemi posłuży nam za wskazówkę porównawczą do oceny gęstości i masy innych ciał niebieskich, dlatego nie możemy tu pominąć tej kwestyi, lubo ze względu na metody, jakie do jej rozwiązania prowadzą, stanowi ona przedmiot fizyki raczej, aniżeli astronomii.

16) Waga Cavendisha.

Pierwszy pomysł urządzenia wagi, na którejby można zważyć ziemię, zawdzięczamy Johnowi Mitchell, członkowi towarzystwa królewskiego w Londynie i rektorowi w Tornhill, w hrabstwie Yorku. W r. 1759 obmyślił on przyrząd, zwany *wagą skręcenia,* który następnie oddał ważne usługi w różnych badaniach fizycznych. Mitchell zrozumiał, że jego waga skręcenia posłużyć może do celu, który nas tu zajmuje, i wybudował nawet odpowiedni aparat; nie mając wszakże czasu do przeprowadzenia tych prac, a przewidując blizki swój zgon, który nastąpił 1793 r., zapisał cały materyał Wollastonowi, profesorowi w Cambridge, ten zaś ofiarował go Cavendishowi, «najuczeńszemu z bogatych i najbogatszemu z uczonych,» który zadanie to nakoniec szczęśliwie przeprowadził.

Zasadą wagi Cavendisha jest znowu ten sam prosty przyrząd fizyczny, do którego tylokrotnie odwoływać się nam należało i przy oznaczeniu postaci ziemi: «ciężarek na sznurku»—to jest wahadło. Wiemy już, że przyczyną ruchu wahadłowego jest przyciąganie ziemi, a gdyby przyciąganie to było większem, szybkość wahań danego wahadła również musiałaby wzrosnąć. Ruchy tego samego wahadła byłyby wolniejsze na księżycu, a na słońcu szybsze daleko, niż na ziemi; siła bowiem przyciągania zależy od ilości cząstek, czyli od masy ciała. O masie zatem ciała pojęcie daje nam przyciąganie przez nie wywierane, za miarę zaś tego przyciągania posłużyć może szybkość ruchu danego wahadła.

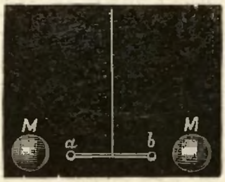
Gdybyśmy przeto wzbudzić mogli ruch wahadłowy przez wpływ przyciągania znanej masy, moglibyśmy wnieść stąd o masie ziemi, znamy bowiem szybkość ruchu wahadłowego, jaką ona wywołuje.

Aby wszakże doświadczenie to wykonać, pamiętać należy, że choćbyśmy wyrobili olbrzymią kulę z najcięższego metalu i obok niej zawiesili wahadło, nie dostrzeżemy najlżejszego zboczenia, masa bowiem takiej bryły byłaby zawsze jeszcze żadną w porównaniu z masą ziemi, a przewaga tej ostatniej nie dopuszczałaby ujawnienia się działalności kuli. Aby dostrzedz objawy przyciągania pewnej masy, trzeba więc przedewszystkiem usunąć wpływ ziemi na wahadełko, obok owej masy zawieszone.

Dziwaczne to napozór żądanie urzeczywistnić można, zawieszając owo wahadełko nie w położeniu pionowem, lecz poziomem. Jeżeli na obu końcach drążka, w środku zawieszonego, uczepimy dwie jednakowe kulki, to ciężary ich nawzajem się równoważą i żadna z nich ku ziemi pochylać się nie będzie; są one przeto jakby usunięte z pod wpływu przyciągania ziemskiego.

Taka jest myśl przewodnia przyrządu, zbudowanego przez Mitchella, a który wsławił Cavendisha nie mniej zapewne, aniżeli prace jego nad składem chemicznym wody.

Ogólne urządzenie wagi Cavendisha przedstawia fig. 8. Na cienkiej nici srebrnej uczepiony jest lekki drążek metalowy, dźwigający na obu końcach małe kulki metalowe *a* i *b*,—widzimy, że tworzy on wahadło, mogące się kołysać jedynie w płaszczyźnie poziomej.—Kulki *a* i *b* są widocznie usunięte z pod przyciągania ziemskiego, tak, że ujawnić się może słabe przyciąganie, jakie na nie wywierają dwie wielkie kule ołowiane *M*, w pobliżu nich się znajdujące.



(Fig. 8).

W przyrządzie Cavendisha kule te w dzisiejszych jednostkach ważyły po 158 kilogramów i zawieszone były na końcach silnie zbudowanego pręta, a dla usunięcia wszelkich wpływów ubocznych cały ten przyrząd był zamknięty w pokoju bez drzwi i okien, a oświetlony jedynie lampą, znajdującą się zewnątrz, której światło dostawało się przez mały otwór, a to dla usunięcia niejednostajnego ogrzewania powietrza pokoju, toby bowiem sprowadzało lekkie prądy, mogące wywoływać kołysanie się wahadła.

Dodać jeszcze należy, że ruchy kulek obserwowane były z zewnątrz, za pomocą lunety, przez otwór boczny w ścianie pokoju.

Pręt, podtrzymujący kule wielkie, mógł być obracanym z zewnątrz pokoju. Gdy ustawionym był prostopadle do drążka *ab,* kule nie mogły wywierać żadnego wpływu na kulki małe, znajdowały się bowiem w jednakiej od nich odległości ze stron przeciwnych; działanie ich nawzajem się znosiło. Ale skoro pręt obrócono tak, że kule wielkie zbliżyły się do małych, drążek poziomy zaczął się natychmiast obracać; teraz bowiem każda kulka jest silniej przyciąganą przez kulę bliższą, usiłuje przeto do niej się zbliżyć. (Figurę 8-ą należy tak rozumieć, że drążek *ab* znajduje się na płaszczyźnie papieru, jedna zaś z kul *M* przed tą płaszczyzną, a druga poza nią). Ruchowi temu wszakże opiera się drut srebrny, na którym wahadło jest zawieszone,

gdyż wskutek tego ruchu ulega on skręceniu, co powstrzymuje dalszy ruch drążka. Pod wpływem przeto współdziałania dwu przyczyn — przyciągania kul wielkich i skręcania drutu—drążek odbywać będzie wahania około pewnego położenia średniego, a za pomocą wspomnianej wyżej lunety będzie można zaobserwować obszerność i szybkość tych wahań. Tym sposobem zmierzyć można siłę, z jaką kule wielkie przyciągają kulki małe, daje się ona bowiem ocenić z szybkości wahań drążka poziomego. Skoro zaś w ten sposób poznajemy, jak wielkie przyciąganie wywiera kula znanej masy, to obliczyć też można, jaką masę posiada ziemia, znamy bowiem siłę przyciągania przez nią wywieraną. Przy przeprowadzeniu tych rachunków pamiętać należy, że pod względem przyciągania kula działa tak, jakgdyby wszystka jej masa skupioną była w jej środku; uwzględnić przeto trzeba oczywiście nieznaczną odległość wahadełka *ab* od środka kuli ołowianej *M*, w porównaniu z olbrzymią odległością wahadła zwyczajnego od środka ziemi.

Jako rezultat doświadczeń swych i rachunków, otrzymał Cavendish, że średnia gęstość ziemi wynosi 5,48, co znaczy, że ziemia jest prawie $5^1/_2$ razy gęstszą od wody, czyli że waży $5^1/_2$ razy więcej, aniżeliby ważyła, gdyby cała stanowiła bryłę wodną.

Badania Cavendisha były powtórzone w r. 1837 przez Reicha we Freibergu. Używał on drogi tej samej, udoskonalił ją jednak przez usunięcie źródeł niektórych błędów i doszedł do liczby niewiele różnej od poprzedniej, bo 5,44. W r. 1842 długi szereg takich doświadczeń podjął Baily na zlecenie towarzystwa astronomicznego w Londynie, a wypadek średni z 2,000 przeszło obserwacyi wyniósł liczbę nieco większą niż Cavendisha, 5,68. W dziesięć lat później Reich powtórzył raz jeszcze swe prace w warunkach korzystniejszych; według tych badań, średnia gęstość ziemi wynosi 5,58.

W czasach nowszych za pomocą wagi skręcenia gęstość ziemi oznaczyli A. Cornu i J. Baille w Paryżu. Prace ich,

prowadzone z jak najmożliwszą dokładnością, wydały w lecie 1872 liczbę 5,56, w zimie zaś 1872 — 73 liczbę 5,50. Metody nieco zmienionej użył w r. 1887 Wiesling i oznaczył nią na średnią gęstość ziemi liczbę 5,594.

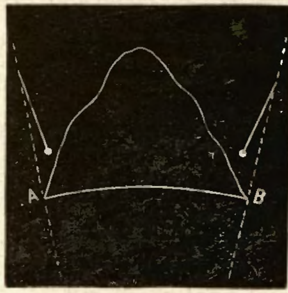
Uderzająca zgodność wszystkich powyższych poszukiwań wskazuje, jak pewną i godną zaufania jest ta metoda ważenia ziemi; liczba wszakże przez nią osiągnięta nabiera pewności tem większej, że daje się stwierdzić badaniami, prowadzonemi według zasad odmiennych.

17) Odchylenie pionu pod wpływem gór.

Już Bouguer 1738 r. dostrzegł, że wysokie góry wywierają wyraźny wpływ na kierunek pionu, odchylając go w skutek swego przyciągania z normalnego położenia. Gdyby przeto można było zmierzyć wielkość tego odchylenia, a zarazem ocenić masę góry, mielibyśmy znowu dane do oznaczenia masy ziemi, której siłę przyciągania znamy. Sposobność do takich obliczeń nastręczyła góra Shehallien w Portshire w Szkocyi. Ponieważ postać tej góry jest prawidłowa, a budowa jej geognostyczna znana, można było przeto ze znacznem przybliżeniem ocenić jej objętość, ciężar i położenie środka ciężkości. Zadaniem tem zajęli się Maskelyne i Hutton w r. 1774 i starannie oznaczyli kierunek pionu w pobliżu tej góry, a dla większej dokładności zawieszali piony po obu jej stronach, na północy i południu. Kierunki pionów w różnych miejscach ziemi schodzą się przedłużone w środku ziemi; choćby przeto wpływ góry był żaden, piony nie byłyby równoległe, ale różnica ich wzajemnego pochylenia zależałaby jedynie od różnicy szerokości geograficznej obu stanowisk obserwacyjnych. Przyciąganie góry odchyla oba piony od normalnego ich położenia tak, że się one ku sobie bardziej pochylają, a tem sa-

mem tworzą między sobą kąt nieco większy, jak to objaśnia dostatecznie fig. 9.

Rozumie się, że oznaczenie tego pochylenia wahadeł polega na obserwacyach astronomicznych: gdyby bowiem piony były równoległe, byłyby zwrócone ku jednej i tej samej gwieździe; z powodu wszakże pochylenia przedłużone ich kierunki napotykają na niebie różne gwiazdy, których odległość kątowa daje zarazem kąt, jaki owe dwa piony z sobą czynią.



(Fig. 9).

W ten sposób Maskelyne i Hutton poznali, że oba piony, umieszczone w miejscach *A* i *B*, czyniły między sobą kąt 54,6″, z pomiarów zaś geodetycznych okazało się, że łuk południka *A B* wynosił tylko 42,94″; przez wpływ przeto góry oba piony razem usunięte były od właściwie pionowego kierunku o 54,6″—42,94″, t. j. o 11,66 sekund.

Rozumie się, że na wielkość tego odchylenia ma wpływ i odległość od góry, a raczej od jej środka ciężkości, bo ciężar każdej masy działa tak, jakby cała skupioną była w swym środku ciężkości. Dla tego też Maskelyne i Hutton obrali stanowiska na południku przechodzącym przez środek ciężkości góry, którego położenie, jakeśmy wyżej wspomnieli, można było oznaczyć.

Na zasadzie tych obserwacyi obaj ci badacze oznaczyli gęstość ziemi na 4,73. Liczba ta znacznie jest mniejszą od liczby Cavendisha, ale też droga ta nie może budzić równego, jak poprzednie, zaufania. Jakkolwiek bowiem metoda sama przez się jest bez zarzutu, to jednak oznaczenie objętości, ciężaru i środka ciężkości góry zawsze będzie miało w sobie coś dowolnego; a co do góry Shehallien było to tem trudniejsze, że składa się ona z kilku różnych skał, których układ wzajemny nie jest zgoła prawidłowym. Korzystniejszą okazała

się do tego celu góra *Arthurs-Seat* pod Edymburgiem, utworzona z bazaltu, a na 800 stóp wysoka; odchylenie pionu w jej sąsiedztwie oznaczył 1856 r. James i obliczył stąd gęstość ziemi na 5,3.

18) Wahadło na szczycie góry i na dnie kopalni.

Wahadło w inny jeszcze sposób posłużyć może do oznaczenia gęstości ziemi.

Siła przyciągania słabnie w miarę odległości od ciała przyciągającego; wahadło przeto zawieszone w pewnej odległości od powierzchni ziemi kołysać się będzie wolniej. W balonie np. wahadło w ciągu pewnego czasu dokonałoby mniej wahnięć, aniżeli w tymże samym czasie przy powierzchni ziemi, a szybkość tę wahań w danej wysokości obliczyć można dokładnie, zgoła niezależnie od obserwacyi.

Inaczej jednak rzeczy się mają, gdy stanowisko to górne nie jest punktem odosobnionym, lecz gdy je obrano na szczycie góry. Wtedy bowiem na ruchy wahadła wpływa i masa góry, przyśpiesza je mianowicie, powiększając liczbę wahnięć, w ciągu pewnego czasu dokonywanych. Istotnie przeto ich liczba będzie większą od obliczonej, a nadmiar ten pozwoli nam ocenić przyciąganie, wywierane przez górę. Gdy przeto zdołamy jeszcze ocenić objętość jej i gęstość, będziemy znowu posiadali dane do obliczenia średniej gęstości ziemi.

Z obserwacyi biegu wahadła na górze Cenis obliczył Carlini 1824 gęstość ziemi 4,39. Jak to jednak okazał następnie E. Schmidt, liczba ta wypadła zbyt małą z powodu pewnego błędu rachunkowego; wynosi ona właściwie 4,837.

Ale i w tej metodzie tkwią te same, co i w poprzedniej źródła błędu, bo i tu rachunek cały oprzeć należy na przybliżonej ocenie objętości i gęstości góry. W sierpniu 1880 r., podobne badania przeprowadził F. C. Mendenhall na szczycie stożkowatego wulkanu Fujiyama w Japonii; doprowadziły one

do wypadku zgodniejszego z rezultatami osiągniętemi wagi skręcenia, bo do liczby 5,77.

Znakomity astronom angielski Airy użył tej samej drogi, ale w sposób niejako odwrotny; zamiast zawiesić wahadło na szczycie góry, umieścił je na dnie kopalni.

Metoda ta polega w ogólności na tej zasadzie, dowiedzionej przez mechanikę, że punkt materyalny, znajdujący się wewnątrz kuli, ulega przyciąganiu tej tylko części, która jest zamkniętą w powierzchni kulistej, przez tenże punkt przechodzącej, cała zaś warstwa zewnętrzna działania nie wywiera żadnego, przyciągania bowiem różnych jej punktów nawzajem się znoszą,—czyli, krótko mówiąc, punkt znajdujący się wewnątrz ziemi ulega jedynie wpływowi jądra wewnętrznego.

Gdy więc zawiesimy jedno wahadło obok otworu szybu, a drugie na dnie głębokiej kopalni, nie będą się one kołysały jednocześnie. Wahadło dolne kołysze się jedynie pod wpływem jądra wewnętrznego, górne zaś pod wpływem tego jądra i skorupy zewnętrznej, wahania swoje zatem odbywa prędzej, a różnica pozwala ocenić wpływ wyłączny tej skorupy ziemskiej. Znamy więc siłę przyciągania skorupy zewnętrznej ziemi i siłę przyciągania całej ziemi; dla obliczenia przeto jej ciężaru potrzebną tylko jeszcze była znajomość ciężaru owych warstw zewnętrznych.

Ciężar ten nie da się wprawdzie oznaczyć, ale domyślać się można, że wahadło ulega głównie wpływowi pokładów sąsiednich, tych zaś gęstość poznać można przez zbadanie natury gruntów okolicznych i przyjąć ją za gęstość całej skorupy, o której tu mowa.

Jeszcze w 1826 r. Airy wespół z Whewellem starali się metodę tę zastosować, prace te wszakże nie powiodły się zgoła. Pomyślniej zdołał je przeprowadzić Airy dopiero w r. 1856; istotne usługi oddał wtedy telegraf elektryczny, którego w r. 1826 jeszcze nie znano, bo tym tylko sposobem można było dokładnie porównywać bieg wahadła górnego i dolnego. Badania swe prowadził astronom angielski w kopalni węgla pod

South-Shields, niedaleko Newcastle, w głębi 385 metrów; wahadło dolne kołysało się rzeczywiście cokolwiek wolniej niż górne, a obliczenia na podstawie tej różnicy przeprowadzone wydały liczbę 6,623,—niewątpliwie zbyt wielką.

Na zasadzie zresztą tych samych obserwacyi Airego, ale odmienną metodą rachunkową, otrzymał Haughton liczbę znacznie mniejszą 5,48.

Ostatnia ta droga oznaczenia gęstości ziemi prowadzi zresztą do wypadków najbardziej wątpliwych, bo polega na przybliżonej ocenie gęstości skorupy, czego też nie znamy. Prof. Birkenmajer, wykazując jej niedostatki, radzi z niej korzystać w sposób niejako odwrotny; przyjąwszy bowiem gęstość średnią całej ziemi za znaną z metody Cavendisha, można tym sposobem dojść gęstości warstw zewnętrznych ziemi, a tak odwrócona metoda Airego przydałaby się bardzo korzystnie, gdyby badania te prowadzono w różnych miejscach ziemi; do prac takich nadałaby się dobrze Wieliczka.

19) Zważenie ziemi za pomocą wagi zwyczajnej.

Powyżej opowiedziane metody nie wyczerpują wszystkich sposobów dochodzenia gęstości ziemi. Owszem, prostszy niewątpliwie od poprzednich przedstawił 1880 r. towarzystwu naukowemu królewskiemu w Londynie J. H. Poynting z Manczesteru. Do zamierzonego celu użył on poprostu wagi zwyczajnej.

Na jednym końcu belki szalek, w miejsce usuniętego talerza, zawiesił ten eksperymentator ciężar ołowiany, ważący 459,92 grama: ciężar ten uczepiony był za pomocą druta długości sześciu stóp i zrównoważony dokładnie ciężarami umieszczonemi na pozostałym talerzu szalek. Otóż, pod powyższy ciężar ołowiany wprowadzono wielką bryłę ołowianą, ważącą 154.220,6 grama. Masa ta wywarła na ciężar przyciąganie, które ujawniło się istotnie pochyleniem belki szalek,

tak, jakby ów przywieszony do niej ołów stał się cięższym. Aby belka znowu do równowagi wróciła, trzeba było na talerzyk dorzucić pewien ciężarek, który przeto stanowi miarę przyciągania, wywieranego przez wielką bryłę ołowianą na ciężar zawieszony. W doświadczeniu, o którem tu mówimy, ciężarek dodany wynosił 0,01 miligrama, czyli około $^1/_{45\cdot000\cdot000}$ każdego z równoważących się ciężarów. Łatwo widzieć, że z doświadczenia tego otrzymać znowu można dane, wystarczające do oceny ciężaru ziemi, a rachunki na tej zasadzie wykonane doprowadziły do liczby 5,69, jako średniej gęstości ziemi.

Na ten sam pomysł zastosowania wagi, zgoła niezależnie od Poyntinga, wpadł też profesor monachijski Jolly i doświadczenia swe na rozległą skalę przeprowadził w r. 1880 — 81. Wagę swą umieścił prof. Jolly w górnej części wysokiej (25 metrów) i pustej wieży; do talerzy tej wagi na długich drutach, schodzących niemal aż do stóp wieży, uczepione były dwa inne talerze. Zamiast zwykłych ciężarów do ważenia, użyto dwu flasz czyli kolb szklanych, napełnionych jednakową ilością rtęci, a oprócz tego przygotowano dwie jeszcze takie same kolby puste i zalutowano je podobnie jak poprzednie.

Doświadczenia prowadzone były w ten sposób, że najpierw obie kolby napełnione rtęcią znajdowały się na talerzach górnych a obie puste na dolnych, następnie zaś jedną z kolb górnych, zmieniano z odpowiednią kolbą z talerza dolnego. Tym sposobem masa rtęci, znajdująca się w kolbie, doznawała zbliżenia ku środkowi ziemi o odległość obu talerzy (21 metrów) i ulegała silniejszemu przyciąganiu; równowaga zatem wagi zrywała się, a dla przywrócenia jej trzeba było dorzucać na drugą stronę wagi ciężarki, które w tym celu wyrobione były z blachy platynowej.

Już sam ten rezultat niezmiernie jest ciekawy, stanowi on bowiem nowe potwierdzenie tej prawdy, że natężenie wzajemnego przyciągania dwu ciał wzrasta, gdy one się ku sobie

zbliżają, a z pięćdziesięciu doświadczeń okazało się, że przyrost ciężaru, jakiego doznawała rtęć (było jej w kolbie 5,00945 kilograma), wynosił 31,686 miligrama.

Gdy następnie pod jednym z dolnych talerzy umieszczono kulę ołowianą, to kolba, przenoszona z górnego talerza na dolny, doznała dalszego przyrostu ciężaru wskutek zbliżenia się do środka kuli ołowianej, a ciężar rtęci okazał się większym, aniżeli w doświadczeniach poprzednich; różnica przeto między przyrostem jednym a drugim dała miarę przyciągania tej kuli. Kula ołowiana, której używał Jolly, składała się ze 115 części i przy średnicy niewiele mniejszej od jednego metra ważyła 5775,2 kilograma; ciężar jej właściwy wynosił 11,186. Potężna taka bryła wywiera wprawdzie wpływ na kolbę i wtedy, gdy znajduje się ona na talerzu górnym, ale, jak rachunek uczy, wpływ tego przyciągania odpowiada ciężarowi zaledwie 0,0008 miligrama, a że drobiazg taki nie wpłynąłby wcale na wagę, której używał Jolly, można przeto na okoliczność tę baczenia nie zwracać; z pięćdziesięciu również obserwacyi okazało się, że gdy kolba napełniona rtęcią przechodziła z górnego talerza na dolny, pod którym znajdowała się kula, ciężar jej wzrastał o 32,275 miligrama, to jest o 0,589 mg. więcej niż w przypadku poprzednim, — znaczy to, że sama kula ołowiana powodowała przyrost ciężaru o 0,589 mg. Rachunek oparty na danych tego doświadczenia prowadzi do średniej gęstości ziemi 5,692, z błędem możliwym, nieprzekraczającym granicy 0,068.

Metoda ta, podobnie jak i metoda Cavendisha, nie potrzebuje odwoływać się do przypuszczeń dowolnych, i dlatego nie mniejsze budzić może zaufanie. Jeżeli zaś Jolly otrzymał liczbę nieco większą, aniżeli różni badacze, którzy się wagą skręcenia posługiwali, to przyczyną tego mogą być znowu okoliczności czysto miejscowe, jakiś pokład ciężki i rozległy, ciągnący się pod gruntem Bawaryi. Waga przeto zwyczajna, podobnie jak i wahadło, stanowić może sondę, pozwa-

lającą wnioskować o budowie głębszych warstw skorupy ziemskiej.

20) Rezultaty ogólne.

Rozmaitość wyników wszystkich badań powyższych wskazuje, że jak kwestya postaci ziemi, tak też i pytanie o jej gęstości stanowczo nie jest załatwionem; ale podobnie jak tam, tak i tu niepewność w bardzo już szczupłych zamyka się granicach. W każdym razie metoda Cavendisha, nie potrzebująca odwoływać się do obliczeń dowolnych, prowadzi do rezultatów najwiarogodniejszych, według których planeta nasza jest nieco więcej nad $5^1/_2$ raza cięższą od bryły wodnej tejże wielkości.

Zaledwie dodawać należy, że skoro znamy gęstość ziemi, obliczenie jej ciężaru wychodzi na zupełnie proste mnożenie, zwłaszcza przy użyciu miar metrycznych. Objętość ziemi, jak przytoczyliśmy wyżej (§ 14), wynosi 1.082.841.000.000 kilometrów sześciennych; jednostka zaś wagi, gram, jest ciężarem jednego centymetra sześciennego wody; metr przeto sześcienny wody, zawierający milion centymetrów sześc., waży milion gramów, czyli tysiąc kilogramów, a kilometr sześc. wody, obejmujący 1.000.000.000 metrów sześc., ważyć będzie 1.000.000.000.000 (według przyjętego u nas sposobu czytania wielkich liczb — trylion) kilogramów. Jeżeli przeto do powyższej liczby, przedstawiającej objętość ziemi w km. sześc., dopiszemy dwanaście zer, otrzymamy w kilogramach ciężar, jakiby posiadała ziemia, gdyby stanowiła bryłę wodną; istotny jej ciężar jest 5 i pół raza większy. Potworność tej liczby uczy dostatecznie, dlaczego, zamiast o ciężarze ziemi, mówi się raczej o jej gęstości.

Sprawa dokładnego ważenia ziemi obchodzi nietylko geografa i geologa: jest ona równie ważna i dla astronoma; poznamy bowiem dalej drogi, któremi oznaczyć można, ile razy siła przyciągania słońca i planet większą jest aniżeli siła

przyciągania ziemi, a tem samem pozwala ocenić stosunek masy tych ciał niebieskich do masy ziemi. Skoro zatem tę ostatnią znamy, możemy oznaczyć masy słońca i planet; waga tedy Cavendisha jest to przyrząd, za którego pomocą nietylko ziemię, ale cały system słoneczny zważyć możemy. Znajomość zaś gęstości ciał niebieskich pozwala wysuwać ważne wnioski o ich budowie fizycznej.

I co do ziemi samej, wykryta jej gęstość daje nam pewne wskazówki o tajemniczem jej wnętrzu.

Średni ciężar właściwy ziemi $5^1/_2$ jest bardzo znaczny w porównaniu z ciężarem materyałów, przeważnie skorupę jej składających; średnia bowiem gęstość znanej nam skorupy lądowej niewiele zapewne przechodzi liczbę $2^1/_2$, a obniży się mniej więcej do 1,6, jeżeli do mas stałych dodamy i powłokę wodną, oceaniczną. Z tego wypływa niewątpliwie, że wnętrze ziemi jest utworzone z mas cięższych, aniżeli jej warstwy wierzchnie.

Tyle też tylko z pewnością wiemy dotychczas o zagadkowej budowie jądra ziemskiego, po za tem obracać się musimy w dziedzinie domysłów, które nauka usiłuje coraz ściślej uzasadnić. Kwestya ta wchodzi już w zakres geologii i geografii fizycznej, do rozwiązania jej jednak astronomia daje ważne przyczynki i będziemy mieli jeszcze sposobność o nią potrącić.

ROZDZIAŁ III.
OBRÓT OSIOWY ZIEMI.

21) Obrót pozorny sklepienia niebieskiego.

Bieg dzienny słońca, wiążąc się bezpośrednio z kolejnem następstwem dnia i nocy, uwadze naszej nastręcza się bezpośrednio. Nim jeszcze przededniem oczom naszym ukazuje się słońce, blizki wschód jego zwiastuje blask, rozwidniający stopniowo błękit sklepienia niebieskiego; pomroki nocne rozwiewają się zwolna i wśród wzrastającej jasności wynurza się zwolna nad poziom bryła płomienista, oblewając ziemię potokami światła i budząc do życia przyrodę całą. Wznosząc się coraz wyżej, oddala się słońce od poziomu, a gdy dosięga najznaczniejszego nad poziom wzniesienia, czyli największej swej wysokości, znamionuje chwilę południa. Słońce przebyło wtedy połowę swej drogi dziennej; odtąd schodzi coraz niżej i zagłębia się wreszcie pod poziom w stronie przeciwnej względem tej, od której wzeszło.

Noc zalega stopniowo ziemię i niebo, na którem, przytłumione dotąd światłem dziennem, ukazują się gwiazdy, najpierw te, które są jaśniejsze, a z powiększaniem się stopniowem ciemności, i te, które słabsze wysyłają światło. Światełka te drobne zatrzymują wzrok nasz, a gdy dostrzeżeń swych nie przerywamy, poznajemy, że i gwiazdy, podobnie jak słońce, nie pozostają nieruchome, ale przebiegają na niebie drogi w kierunkach, odpowiadających biegowi słońca. Gwiazdy, które w chwili, gdy noc zapadła, były wysoko na niebie, zbliżają się zwolna do poziomu i zachodzą, gdy od strony wschodniej horyzontu wynurzają się czyli

wschodzą gwiazdy inne i podnoszą się coraz wyżej. Niektórych gwiazd widzieć możemy wschód i zachód, innych widzimy wschód tylko, nim bowiem całą swą drogę nad poziomem przebiegną, niebo się rozjaśnia i gwiazdy gasną nam na niebie w blasku wschodzącego słońca; gwiazdy zaś, które zabłysły wieczorem wysoko na niebie, wzeszły za dnia jeszcze, dostrzedz tedy możemy drugą tylko połowę ich biegu, jesteśmy świadkami ich zachodu, wschód ich zaś dla nas jest niewidzialny. Jedne z tych gwiazd przebiegają nad poziomem drogi niewielkie tylko i zachodzą wkrótce po swym wschodzie, inne odbywają drogi rozleglejsze, a odkrywamy i gwiazdy, które przez noc całą są widzialne, nie wschodzą ani zachodzą, cała ich droga bowiem przypada nad poziomem. Brzask dzienny przerywa dostrzeżenia nieba gwiaździstego,—znowu słońce odbywa swą drogę, i znów z jego zachodem ukazują się gwiazdy, przebiegające te same, co nocy poprzedniej, koleje.

Gdy dostrzeżenia takie prowadzić będziemy noc po nocy, przez pewien ciąg czasu, nie trudno nam będzie wyróżnić gwiazdy jaśniejsze, zapamiętać wzajemne ich położenia i ująć pewne charakterystyczne figury, jakie one na niebie rysują. Gdy do tego stopnia posunie się znajomość nasza nieba gwiaździstego, uderzy nas stateczność jego widoku; jakkolwiek wszystkie gwiazdy przesuwają się po niebie, wzajemne ich położenia, odległości ich nie ulegają zmianie, figury przez nie oznaczone nie przeinaczają się zgoła. Wskazuje to, że bieg ten gwiazd stanowi ruch ich wspólny i, jak pierwsi obserwatorowie nieba w dawno zamierzchłych przeddziejowych czasach, przypiszemy ruch ten obrotowi samegoż sklepienia, samej kuli niebieskiej, na której gwiazdy wydają się osadzone. Z obrotem kuli, otaczającej ziemię, przesuwać się muszą gwiazdy, które są do niej przyczepione.

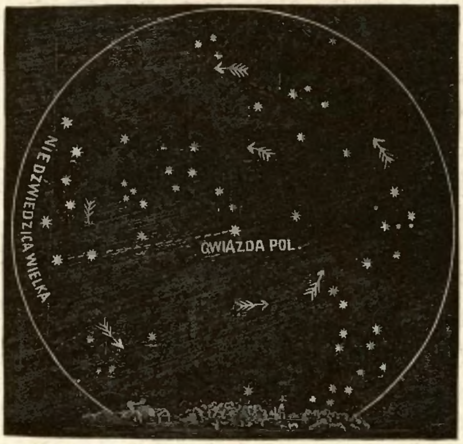
Domysł ten, czyli raczej przypuszczenie obrotu sfery niebieskiej, pozwala łatwiej uchwycić ład w dostrzeżonych przez nas ruchach. Obrót wirowy kuli wyobrażać sobie należy, jako ruch dokoła pewnej osi, która pozostaje nieruchomą,

gdy różne punkty kuli dokoła niej się toczą; jabłko osadzone na drucie może nam obrót taki uzmysłowić. Na powierzchni kuli wirującej dwa tylko punkty zachowują położenie niezmienne, te mianowicie, w których oś powierzchnię tę przebija, a które biegunami jej nazywać będziemy. Drogi, jakie przebiegają różne punkty powierzchni kulistej, są to okręgi kół wielkości niejednakiej. Punkty mieszczące się w pobliżu biegunów obiegają kółka małe; w miarę, jak od biegunów się oddalamy, kołowe te drogi stają się coraz większe; największy zaś okrąg opisują punkty w jednakiej od obu biegunów odległości przypadające; wielkie to koło stanowi równik kuli, koła zaś mniejsze, bliższe bieguna, jej równoleżniki. Dostrzegamy łatwo, że równik i równoleżniki przypadają na płaszczyznach do osi prostopadłych, między sobą zatem równoległych.

Szczegóły te, które łatwo wyobrazić sobie i które na jakiejkolwiek wirującej kuli dostrzedz możemy, odnieśmy do dostrzeżeń naszych nad obrotem sfery niebieskiej. Aby oznaczyć położenie osi, dokoła której obrót ten się odbywa, należałoby wyszukać na kuli niebieskiej oba jej bieguny; skoro wszakże widzialną jest dla nas połowa tylko tej kuli, nad poziomem się naszym wznosząca, jeden przeto tylko biegun, jeden punkt nieruchomy sklepienia może być dla nas widzialny.

Aby go wykryć, zwrócić trzeba tedy wzrok na tę okolicę nieba, gdzie gwiazdy obiegają koła najmniejsze. Uwagę naszą zatrzyma najwspanialszy w tej okolicy, a znany każdemu, gwiazdozbiór Niedźwiedzicy Wielkiej, przez lud zwany też Wozem Wielkim (fig. 10); z siedmiu gwiazd, które (oprócz wielu pomniejszych) stanowią ten gwiazdozbiór, cztery tworzą trapez (ciało Niedźwiedzicy, koła Wozu), trzy pozostałe ułożone są w linii łamanej (ogon Niedźwiedzicy, dyszel Wozu). Otóż, jeżeli przeprowadzimy linię prostą przez dwie gwiazdy, oznaczające przednie łapy Niedźwiedzicy (tylne koła Wozu), i linię tę przedłużymy pięciokrotnie, natrafimy na jasną gwiazdę, która razem z sześciu sąsiedniemi tworzy gwiazdozbiór zupełnie podobny do poprzedniego, ale od niego mniejszy i zwany

Niedźwiedzicą małą, albo Wozem małym. Gwiazda, na którą natrafiła linia przez nas prowadzona, jest ostatnią w ogonie tej Niedźwiedzicy i łatwo dostrzeżemy, że wszystkie inne gwiazdy tego gwiazdozbioru dokoła niej się obracają w kierunku, wskazanym na rycinie przez strzałki. Podobnemuż ruchowi, ale rozleglejszemu, ulegają i gwiazdy Niedźwiedzicy Wielkiej i wszelkie inne gwiazdy nieba. Ta zatem gwiazda ostatnia w ogonie Niedźwiedzicy małej przypada na biegunie niebieskim i nazywa się stąd *gwiazdą biegunową* albo *polarną*.



(Fig. 10).

Dokładniejsze obserwacye wskazują, że i ta dla oka nieuzbrojonego nieruchoma napozór gwiazda obiega też kółko niewielkie, że zatem przypada ona bardzo blizko bieguna, ale nie w samymże tym punkcie, oddaloną jest od niego mianowicie nieco więcej aniżeli o jeden stopień, czyli zaledwie o podwojoną średnicę tarczy księżycowej.

Okolica świata, w której przypada biegun przez nas odkryty, nazywa się północną, dlatego i biegun ten północnym nazywamy; niewidzialny dla nas biegun drugiej półkuli jest biegunem południowym. Znajomość bieguna północnego pozwala nam bezpośrednio oznaczać położenie stron świata; gdy bowiem ku temu zwrócimy się punktowi, mamy przed sobą północ, za sobą południe, wschód po prawej, a zachód po lewej stronie. Linia, łącząca oba bieguny nieba, będzie osią świata; bieguna południowego nie widzimy wprawdzie, kierunek jednak osi ująć możemy, gdy zważymy, że ziemia przy-

pada w środku kuli niebieskiej, a raczej, że środek kuli ziemskiej schodzi się ze środkiem kuli niebieskiej. Jest to złudzenie, wynikające stąd, że wszystkie zjawiska niebieskie zachodzą dla nas tak, jakby się dokonywały na jednej powierzchni kulistej, a z czego sobie dalej dokładniej zdamy sprawę. Kierunek osi niebieskiej otrzymamy tedy, wyobraziwszy sobie linię poprowadzoną od bieguna do środka ziemi; względnie jednak do odległości gwiazd, ziemia jest tak drobną, że znajdując się na jej powierzchni, mamy taki sam widok nieba, jakiby się nam ze środka jej przedstawił, — oś zatem świata będzie to linia, poprowadzona od bieguna do naszego oka, które dla każdego z nas stanowi właśnie środek kuli niebieskiej roztaczającej się dokoła.

Zapoznawszy się w ten sposób z położeniem osi niebieskiej, dostrzeżemy dalej, że gwiazdy w dziennym czyli dobowym swym obrocie biegną po okręgach kół, prostopadłych do tej osi. Gdyby gwiazdy znaczyły ślad swej drogi, mielibyśmy na niebie nakreślone równoleżniki, z których największy, przypadający w jednakiej odległości od obu biegunów, stanowi równik. Gwiazda znajdująca się na równiku ma do przebieżenia drogę największą; oddalając się od równika w obie strony ku biegunom, napotykamy równoleżniki coraz mniejsze, im dalej się od równika mieszczą. Równik jest to wielkie koło na niebie, znajdujące się w jednakiej od obu biegunów odległości; dzieli on kulę niebieską na dwie połowy, na półkulę północną i południową. Aby położenie jego na niebie odszukać, należy nam od bieguna północnego odwrócić głowę o 90° na południe.

Nie skończyliśmy wszakże jeszcze wykazu linii, które dla udogodnienia dostrzeżeń astronomicznych należy sobie na niebie wyobrazić.

Przez punkt, w którym się znajdujemy, poprowadzimy do poziomu linię prostopadłą. Linia ta, wierzchołkową zwana, w górze tuż nad nami zetknie się z kulą niebieską, znacząc punkt najwyższy nad głowami naszemi, punkt wierzchoł-

kowy albo zenit. Jeżeli wyobrazimy sobie linię wierzchołkową, przedłużoną poniżej naszego poziomu, napotka ona niewidzialną dla nas część sfery niebieskiej w punkcie zwanym nadir. Kierunek linii wierzchołkowej w każdem miejscu ziemi wskazuje pion—ciężarek uwiązany na nitce, wyprężającej się pod działaniem siły ciężkości. Ponieważ linia wierzchołkowa prostopadłą jest do poziomu, przeto też każda przez nią przesunięta płaszczyzna również do poziomu prostopadłą będzie; płaszczyzny te, spotykając się ze sklepieniem niebieskiem, kreślą na niem koła, zwane kołami wierzchołkowemi, albo kołami wysokości. Takie koło wierzchołkowe od zenitu do poziomu poprowadzić można oczywiście przez każdą gwiazdę i odczytać na niem wysokość gwiazdy, czyli wzniesienie jej nad poziom.

Ze wszystkich wszakże tych kół wierzchołkowych, do poziomu prostopadłych, największe ma znaczenie koło wierzchołkowe idące przez biegun, a zwane południkiem. Południk jest to więc koło wielkie na niebie, przechodzące przez biegun i zenit danego miejsca.

Jeżeli z kierunkiem południka zestawimy bieg równoleżników, dostrzeżemy łatwo, że dzieli on wszystkie te koła na dwie części równe, a nadto, dzieli również na połowy część każdego równoleżnika, przypadającą nad poziomem. Wypływa stąd, że każda gwiazda, przebiegając równoleżnik swój przy obrocie dziennym, dosięga najznaczniejszej swej dla nas wysokości, czyli największego wzniesienia nad poziom, gdy przechodzi przez nasz południk. Odbyła ona wtedy połowę swej drogi nad poziomem, południk przeto dzieli na połowy czas, jaki upływa między wschodem a zachodem gwiazdy. To samo tycze się oczywiście i słońca, które, jak każda inna gwiazda, przebiega drogę swą od wschodu na zachód; gdy więc przechodzi ono przez południk danego miejsca, posiada największą wysokość, zegar słoneczny znaczy wtedy chwilę południa.

Przejście gwiazdy przez południk nazywa się jej *górowa-*

niem, albo *kulminacyą górną.* Przechodzi ona jednak drugi raz jeszcze przez południk w niewidzialnej dla nas części nieba; ma wtedy położenie względem nas najniższe, zagłębia się najdalej pod nasz poziom, i dlatego przejście to nazywa się *dołowaniem gwiazdy,* albo *kulminacyą dolną.* Gdy słońce przechodzi przez niewidzialną dla nas część południka, przypada dla nas chwila północy. Jeżeli jednak gwiazda znajduje się tak blizko bieguna, że cała jej droga przypada nad poziomem, że zatem nie wschodzi ani zachodzi, wtedy, ma się rozumieć, zarówno górne, jak i dolne przejście przez południk może być dla nas widzialnem.

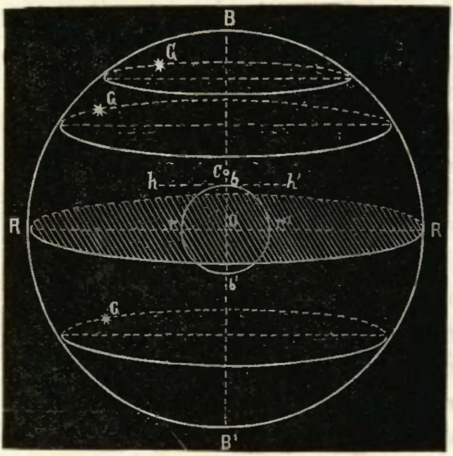
Płaszczyzna południka, przechodząc przez linię wierzchołkową, jest prostopadła do poziomu i dzieli go także na dwie części równe. Linia prosta, według której płaszczyzna południka przecina poziom, nazywa się linią południkową. Linia ta spotyka się ze sferą niebieską, w dwu punktach przeciwległych; jeden z nich, przypadający po stronie bieguna północnego, wyznacza północ, przeciwległy mu — południe. Linia, do linii południkowej prostopadła, spotyka sferę niebieską również w dwu punktach; gdy zwróceni jesteśmy ku północy, wtedy punkt po prawej jest punktem wschodu, punkt po lewej — punktem zachodu. Sieć ta linii, którą sobie wyobrażamy na sferze niebieskiej, zostaje w bezpośrednim związku z liniami, które pod podobną nazwą opasują kulę ziemską. Ponieważ ziemia zajmuje środek kuli niebieskiej, a raczej środki obu tych kul przypadają w jednym punkcie, oś zatem niebieska przechodzi przez środek ziemi i przebija ją w dwu punktach, zwanych biegunami ziemskiemi, północnym i południowym, stosownie do strony nieba, ku której są zwrócone. Płaszczyzna równika niebieskiego przechodzi również przez środek ziemi i na powierzchni jej odcina koło wielkie, stanowiące równik ziemski, który dzieli ziemię na półkulę północną i południową. W tenże sam sposób i płaszczyzny południków niebieskich, przecinając ziemię, rysują na niej południki ziemskie, jako okręgi kół wielkich, przechodzące przez oba

bieguny. Równoleżniki tylko niebieskie nie dają się w sposób tak bezpośredni przenieść na ziemię; aby znaleźć koło na ziemi, odpowiadające danemu równoleżnikowi niebieskiemu, wyobrazić sobie należy stożek, czyli ostrokrąg, mający wierzchołek swój w środku ziemi, a za podstawę uważany równoleżnik niebieski: powierzchnia tego stożka, przebijając powierzchnię ziemi, odcina na niej okrąg koła, stanowiący właśnie szukany równoleżnik ziemski.

Układ tych linii pozwoli nam dokładniej rozpatrzyć objawy ruchu dziennego kuli niebieskiej, jak się one przedstawiają mieszkańcom ziemi z różnych jej punktów.

22) Objawy obrotu dziennego sfery niebieskiej dla mieszkańca bieguna.

Rozejrzenie objawów, jakie powoduje obrót dzienny sfery niebieskiej, rozpoczynamy od bieguna. Figura 11-ta przedstawia kulę niebieską, małe wewnątrz niej kółko kulę ziemską. *B, B'* są to bieguny niebieskie, *b, b'* bieguny ziemskie, *RR* równik niebieski, koła do niego równoległe: równoleżniki. Człowiek stojący na ziemi ma kierunek pionowy, t. j. przechodzący przez środek ziemi; mieszkaniec zatem bieguna północnego *C* widzi biegun niebieski tuż nad swoją głową, w swoim zenicie; linia *b B* jest jego linią wierzchołkową, płaszczyzna zatem *h h,'* do linii tej prostopadła, a styczna do



(Fig. 11).

powierzchni ziemi w punkcie *b,* stanowi jego poziom, oddziela widzialną dla niego część nieba od niewidzialnej. Z powodu jednak drobnych wymiarów ziemi względnie do odległości gwiazd, jak już wiemy, zamiast tego poziomu rzeczywistego czyli fizycznego uważać możemy poziom matematyczny, to jest płaszczyznę do niego równoległą, przechodzącą przez środek ziemi *O;* płaszczyzną tą w rozważanym przez nas przypadku jest równik. Dla mieszkańca zatem bieguna północnego, część nieba widzialną od niewidzialnej oddziela równik; wzrokowi jego otwartą jest półkula nieba północna, południowa zaś zupełnie zakryta.

Wskutek obrotu dziennego kuli niebieskiej około osi *BB'* gwiazda każda *GG'* opisuje drogę do równika równoległą; drogi te na niebie wskazują równoleżniki, na figurze nakreślone. Wszystkie równoleżniki półkuli północnej, jak widzimy na figurze, przypadają nad poziomem mieszkańca bieguna północnego; wszystkie równoleżniki półkuli południowej, pod tym poziomem, każda zatem gwiazda półkuli północnej nieba, *G, G'* w całym swym przebiegu dziennym pozostaje stale nad poziomem i jest wciąż widzialną, żadna gwiazda zaś półkuli południowej, *G''*, nigdy się nad poziom nie wynurza. Gwiazda, na samym równiku niebieskim przypadająca, opisuje w ciągu doby koło na kresach jego poziomu. Wschód i zachód gwiazd są to pojęcia obce zgoła mieszkańcowi bieguna; widzialne dla niego gwiazdy półkuli północnej opisują drogi do poziomu równoległe, nie wschodzą nigdy ani zachodzą. Cośmy tu powiedzieli o mieszkańcu bieguna północnego stosuje się bezpośrednio i do mieszkańca bieguna południowego: widzi on wszystkie gwiazdy półkuli południowej nieba, nie zna zaś żadnej gwiazdy północnej. Równik jest wspólnym poziomem dla obu biegunów; gwiazda zatem na samym równiku położona widzialną jest jednakowo przez mieszkańców obu biegunów.

Te same uwagi zastosować możemy do słońca, które, jak każda inna gwiazda, ulega ruchowi dziennemu nieba. Słońce jednak, jak to poznamy dalej, nie zachowuje na niebie poło-

żenia niezmiennego, ale odbywa po niem wędrówkę roczną, pozostając przez jedno półrocze na półkuli południowej, przez drugie na północnej; z południowej na północną przechodzi d. 21 marca, z północnej na południową d. 22 września, w obu tych dniach zatem znajduje się na samym równiku niebieskim.

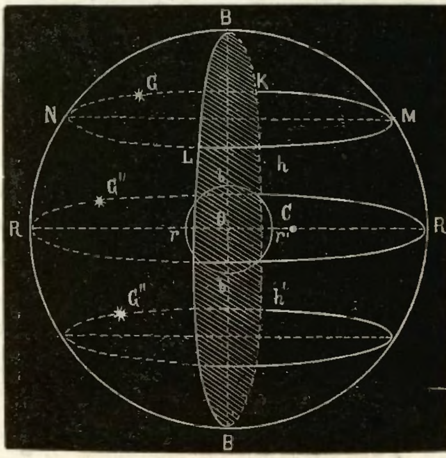
Gdy słońce znajduje się na półkuli południowej, dla mieszkańca bieguna północnego jest zgoła niewidzialne, tak, jak i każda inna gwiazda południowa — zachodzi dla niego wtedy bezustanna noc półroczna; gdy natomiast przypada na półkuli północnej, jest ciągle nad poziomem tego bieguna, ma tam tedy miejsce ciągły dzień półroczny. Po długiej nocy półrocznej, ukazuje się słońce 21 marca na poziomie mieszkańca bieguna północnego i w ciągu doby opisuje koło na skraju jego widnokręgu. W miarę, jak sunąc dalej na północ, oddala się słońce od równika, wznosi się coraz wyżej nad poziom, opisując codziennie koło do poziomu równoległe; gdyby więc ślad swej drogi na niebie zostawiało, kreśliłoby na niem linię szrubową, wijącą się coraz wyżej nad poziom. Ruch ten słońca w górę trwa przez trzy miesiące; d. 21 czerwca dochodzi ono najwyższego swego wzniesienia, a koło, jakie wtedy opisuje, oddalone jest, jak poznamy następnie, o 23° 28′ od poziomu. Począwszy od dnia tego słońce zaczyna się obniżać, po tejże drodze szrubowej schodzi coraz bliżej poziomu, dosięga go wreszcie 21 września, a kryjąc się pod nim, przechodzi na półkulę południową i wynurza dla mieszkańca bieguna południowego, dla którego w tejże chwili rozpoczyna się dzień półroczny. Dwa razy zatem w ciągu roku mieszkańcy obu biegunów widzą słońce współcześnie w swoim poziomie, ale gdy jeden wita je radośnie, jako zwiastuna dnia, drugi w tejże chwili żegna je na całe półrocze. Dzień i lato, noc i zima—są to synonimy dla mieszkańców bieguna.

Na żadnym z biegunów nie stanął dotąd wprawdzie nikt jeszcze; ale i w tych szerokościach dalekich, dokąd człowiek już dotarł, objawy te zachodzą w sposób bardzo zbliżony do

tego, co się na samych biegunach dzieje. Będziemy mieli sposobność rzecz tę dokładniej jeszcze rozpatrzyć.

23) Objawy obrotu dziennego sfery niebieskiej dla mieszkańca równika.

Od biegunów przerzućmy się teraz na równik. Figura 12-ta odpowiada zupełnie poprzedniej, ale bierzemy tu pod uwagę mieszkańca równika *C*.



(Fig. 12).

Kierunek pionowy— przypominamy raz jeszcze — oznacza kierunek przechodzący przez środek ziemi; mieszkaniec przeto równika ma nad głową swoją punkt *R* równika niebieskiego, zenit jego zatem przypada na równiku niebieskim, linią jego wierzchołkową jest *rR*, a płaszczyzna do tej linii prostopadła *hh'* oznacza jego poziom rzeczywisty, zamiast którego znowu przyjąć możemy równoległy do niego poziom matematyczny, idący przez środek ziemi i wskazany na figurze płaszczyzną przyciemnioną. Poziom ten, jak widzimy, przechodzi przez oba bieguny; mieszkaniec zatem równika widzi oba bieguny niebieskie, tuż na swoim poziomie. Jest to jedyne na ziemi stanowisko, z którego oba te punkty dostrzedz można.

Gwiazda *G*, przy obrocie dziennym sfery niebieskiej, staje się widzialną dla mieszkańca *C*, skoro w punkcie *K* wynurza się nad jego poziom, czyli wschodzi i jest dla niego widzialną dopóki nad tym poziomem przypada, to jest w części *KML*

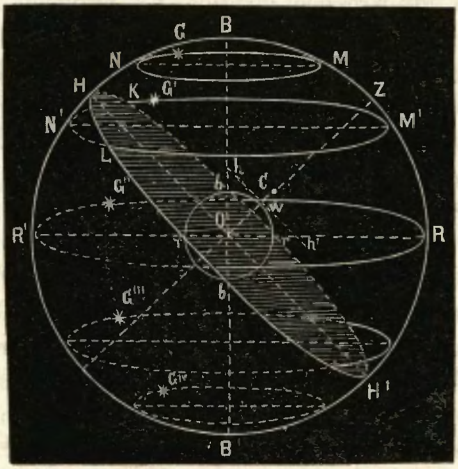
swej drogi. Najwyższej swej wysokości, czyli najznaczniejszego wzniesienia nad poziomem dosięga ona w punkcie *M;* okrąg bowiem *BRB* przedstawia południk niebieski tegó mieszkańca, tak jak okrąg mały *brb'* jego południk ziemski. W punkcie *L*, gwiazda zanurza się pod poziom, czyli zachodzi i odtąd jest niewidzialną aż do następnego znów wschodu w punkcie *K;* z rysunku widzimy, że część *KML* równoleżnika tej gwiazdy równa się części jego *LNK*, gwiazda zatem jednakową odbywa drogę nad poziomem i pod poziomem, widzialną jest przeto przez połowę pełnej swej drogi. To samo zupełnie tycze się i gwiazdy *G''*, położonej na półkuli południowej; jak wreszcie i gwiazdy *G'*, przypadającej na samym równiku niebieskim. A zatem mieszkaniec równika zna wszystkie gwiazdy nieba, zarówno północne, jak i południowe, a każda z nich zarówno długo bawi nad, jak i pod jego poziomem.

To samo tycze się i słońca; gdziekolwiek się ono na niebie znajduje, czy to na półkuli północnej, czy południowej, czy też na samym równiku niebieskim, zawsze połowę swej drogi odbywa nad poziomem, a połowę pod poziomem, przez cały rok zatem dla mieszkańca równika, dzień równy jest nocy.

24) Objawy obrotu dziennego sfery niebieskiej w szerokościach pośrednich.

Pozostał nam jeszcze do rozpatrzenia przypadek najpowszechniejszy, to jest punktu położonego w szerokościach pośrednich między biegunem a równikiem. Uważamy mieszkańca *C*, półkuli północnej, w punkcie *W*, którego zenit, jak widzimy na figurze 13-ej, przypada w *Z*. Płaszczyzna jak *hh'* prostopadła do linii wierzchołkowej *WZ*, stanowi jego poziom rzeczywisty, równoległa do niej płaszczyzna *HH'*, idąca przez środek ziemi, poziom matematyczny. Biegun północny *B* przypada nad tym poziomem, biegun południowy *B'* jest przed wzrokiem mieszkańca półkuli północnej zakryty. Gwiazda *G*, położona blizko bieguna północnego, odbywa całą swą drogę

nad poziomem, nigdy nie zachodzi; w punktach M i N przechodzi przez południk; okrąg bowiem BZR przedstawia południk niebieski mieszkańca C, tak, jak to okrąg bWr jego południk ziemski. W punkcie M, dosięga gwiazda swej największej wysokości, najwyższego wzniesienia nad poziom, czyli góruje; w punkcie N, zbliża się najbardziej do poziomu, czyli dołuje. Niezachodzące takie gwiazdy nazywają się kołobiegunowemi;



(Fig. 13).

ostatnia z nich, czyli najbardziej od bieguna oddalona, jest to gwiazda, której równoleżnik przechodzi przez punkt H; w położeniu swem najniższem muska ona o poziom, ale się jeszcze podeń nie zanurza. Przypuśćmy, że idzie tu o Warszawę. Szerokość jej geograficzna, czyli odległość od równika, zatem łuk Wr wynosi 52^0 13′, tej samej przeto wielkości jest odpowiadający mu kąt WOr, albo, co na jedno wychodzi, kąt ZOR. Ostatni zaś ten kąt, jak to łatwo z figury wywnioskować można, równy jest kątowi BOH, który mierzy wzniesienie bieguna nad poziom; te zatem gwiazdy w danem miejscu nie zachodzą, których odległość od bieguna jest mniejsza, lub co najwyżej równa szerokości geograficznej tego miejsca. W miarę jak przechodzimy ku biegunowi, liczba gwiazd niezachodzących wzrasta, maleje zaś, gdy zbliżamy się ku równikowi. Gwiazda G', położona bliżej równika niebieskiego, przebiega część swej drogi $KM'L$ nad poziomem, część $LN'K$ pod poziomem; widzimy jednak, że każda gwiazda półkuli

północnej dłużej bawi nad, aniżeli pod poziomem. Dla gwiazd bliższych równika, różnica obu tych części staje się mniejszą, a gdy wreszcie gwiazda *G''* przypada na samymże równiku niebieskim, przebiega jednakową drogę nad i pod poziomem. Ale i półkula południowa nieba niezupełnie jest zakryta przed wzrokiem mieszkańca okolic północnych, od równika bowiem aż do poziomu jego ciągnie się widzialny dla niego obszar *RH'*, każda wszakże gwiazda *G'''* na tej przestrzeni nieba położona, krótszą już drogę nad poziomem, aniżeli pod nim przebiega. Gwiazdy, sąsiadujące z biegunem południowym, gwiazdy kołobiegunowe południowe, jak G^{IV} są już dla nas zgoła niewidzialne, nigdy dla nas nie wschodzą, całą swą drogę dzienną odbywają pod naszym poziomem. Dla mieszkańca Warszawy, niewidzialne te gwiazdy rozłożone są w obszarze, ciągnącym się na 52° 13′ od bieguna południowego. Mieszkaniec zatem półkuli północnej widzi wszystkie gwiazdy północne i część gwiazd południowych; z gwiazd północnych bliższe bieguna wcale dla niego nie zachodzą, bliższe równika bawią dłużej nad, aniżeli pod jego poziomem; z gwiazd południowych, bliższe bieguna wcale dla niego nie wschodzą, bliższe równika przebywają dłużej pod, aniżeli nad jego poziomem. Tak samo mieszkaniec półkuli południowej zna wszystkie gwiazdy południowe, z gwiazd zaś północnych tylko bliższe równika. Gwiazdy, położone na samym równiku, dla wszystkich mieszkańców ziemi przebiegają jednakową drogę nad i pod poziomem.

Słońce, jak powiedzieliśmy już wyżej, znajduje się przez jedno półrocze na półkuli północnej nieba, przez półrocze drugie na półkuli południowej. W pierwszym razie, przy obrocie dziennym nieba bawi dłużej nad, aniżeli pod poziomem mieszkańca półkuli północnej, dzień jest dłuższy od nocy; w drugim razie przeważną część swej drogi dziennej przechodzi pod poziomem, dzień jest od nocy krótszy. Gdy u nas dni są dłuższe, mieszkańcy półkuli południowej ziemi mają dłuższe noce; gdy u nich dni są dłuższe, my mamy długie noce. W przej-

ściu z półkuli południowej na północną i w drodze powrotnej, słońce dwa razy rocznie przekracza równik niebieski: wtedy dla całej ziemi dzień jest równy nocy. Od równika niebieskiego usuwa się słońce w jedną i drugą stronę najdalej o 23° 28′, nie wchodzi zatem dla nas nigdy w zakres gwiazd kołobiegunowych, a stąd niema dla nas w ciągu roku dni takich, w którychby słońce wcale nie zachodziło, albo wcale nie wschodziło. Dla okolic tylko biegunowych są okresy, w których dzień lub noc trwają całą dobę albo więcej. Szczegóły te poznamy dokładniej, gdy przyjdzie nam bieg roczny słońca rozważać.

25) Domysł obrotu ziemi dokoła jej osi.

Dotąd opisywaliśmy jedynie zjawiska obiegu dziennego ciał niebieskich, jak się one nam przedstawiają z różnych punktów ziemi. Ulegając pierwszemu wrażeniu oka, musieliśmy, jak najdawniejsi obserwatorowie nieba, w tem jednostajnem przesuwaniu się gwiazd, po całem sklepieniu niebieskiem rozrzuconych, widzieć objaw obrotu całej kuli niebieskiej, do której te światła niebieskie jakby przytroczone się wydają. Bliższe zastanowienie wszakże nasuwa nam domysł, że ogół tych objawów w inny jeszcze sposób tłómaczyć się daje, nic bowiem nie stoi na zawadzie przypuszczeniu, że cały ten ruch gwiazd i sklepienia niebieskiego jest złudzeniem tylko, wywołanem przez ruch, czyli obrót ziemi naszej.

Oswojeni od dzieciństwa z rozpowszechnionem i przyjętem ogólnie pojęciem o ruchach ziemi, nie znajdujemy w niem nic zdrożnego; rozumiemy wszakże łatwo, że zasada ta nie mogła być bez oporu przez ogół przyjętą i że z trudnością ledwie torowała sobie do umysłów ludzkich drogę, zupełnie bowiem sprzeczną jest z bezpośredniem świadectwem zmysłów naszych, które żadnego ruchu ziemi zgoła nie dostrzegają; wydaje się niezgodną z tak zwanym zdrowym rozsądkiem, na-

kazując nam przyjąć ruch, którego bynajmniej nie czujemy. Wystarczy wszakże odwołanie się do zjawisk powszednich i dobrze znanych, aby wykazać, że świadectwo zmysłów naszych jest tu niedostateczne i zawodne. Gdy pociąg kolei żelaznej unosi nas mimo lasów i wiosek nieco oddalonych, zapominamy często o ruchu, jakiemu sami ulegamy, a wtedy wydaje się nam, że to góry i chaty biegną w stronę przeciwną; rzeczywisty ruch nasz własny wybija się w pozornym ruchu otaczających nas ciał nieruchomych. Ten sam objaw przytacza wielki twórca nauki o obrotach ziemi, Mikołaj Kopernik, w ósmym rozdziale pierwszej księgi dzieła swego «O obrotach ciał niebieskich:» «Złudzenie zatem jest takie samo, jakby powiedział Eneasz Wirgiljusza: Odbijamy od brzegu, a lądy i miasta ustępują. Albowiem na płynącym podczas ciszy okręcie, wszystkie przedmioty, zewnątrz położone, żeglarze widzą posuwające się na podobieństwo owego ruchu, sami zaś nawzajem sądzą, że zostają w spoczynku razem ze wszystkiem, co mają z sobą na okręcie. Tak samo dzieje się z ruchem dziennym ziemi, z której patrząc na niebo, zdaje się, jakoby cały świat toczył się wokoło.»

Jeżeli więc podróżnik na pociągu lub okręcie tak łatwo tracić może z uwagi ruch, jakiemu ulega, to brak świadomości o ruchu ziemi nie może stanowić trudności, którąby na istnienie tego ruchu zgodzić się nam nie dozwoliła; jeżeli zaś ruch ziemi przyjmiemy, to ruch sklepienia niebieskiego uważać musimy jako pozorny tylko, jako odzwierciedlenie własnego naszego biegu.

Ponieważ obrót nieba odbywa się w kierunku od wschodu ku zachodowi, przyjąć musimy, że ziemia obraca się od zachodu ku wschodowi około tej samej osi, dokoła której obiega kula niebieska, a na dokonanie pełnego obrotu również doby potrzebuje. To nie słońce, księżyc i gwiazdy nad nasz poziom się wynurzają, ale nasz poziom wskutek obrotu ziemi obniża się pod słońce, księżyc, albo inną jakąkolwiek gwiazdę która na nieruchomem niebie stałe zajmuje miejsce. Gdy

więc mówimy, że słońce wschodzi i zachodzi, oznacza to nie istotny przebieg zjawiska, lecz tylko sposób, w jaki się nam ono przedstawia. Różne punkty ziemi, przypadające na jej powierzchni w rozmaitych od jej osi odległościach, drogi swe obiegają z szybkością niejednakową; punkty, położone na równiku biegną najszybcej, w miarę zbliżania się ku biegunom, szybkość ta maleje, same zaś bieguny ziemskie, jako punkty, w których oś obrotu powierzchnię ziemi napotyka, w obrocie tym dziennym pozostają nieruchome.

Skoro ruch nieba jest odzwierciedleniem tylko ruchu ziemi, odbywać się więc musi dokoła tej samej linii, co innemi słowy znaczy, że oś świata jest przedłużeniem osi ziemskiej, a bieguny niebieskie i bieguny ziemskie przypadają na jednej i tejże samej linii.

Rozważanie powyższe przekonywa nas dostatecznie, że objawy dziennego ruchu nieba tłómaczyć możemy zarówno dobrze, bądź obrotem kuli niebieskiej od wschodu ku zachodowi, bądź też obrotem kuli ziemskiej od zachodu ku wschodowi—nasuwa się tedy pytanie: który z obu tych ruchów więcej ma za sobą prawdopodobieństwa?

Pierwszy argument nastręcza nam szybkość obrotu. Już starożytni przyjmowali, że wymiary nieba w porównaniu z ziemią za nieskończenie wielkie uważać należy. «Ziemia względnie do nieba, mówi Kopernik, jest jak punkt do kuli, jak rzecz skończona do nieskończenie wielkiej, i nic innego nie zdaje się przedstawiać... Bardziejby więc nas to dziwiło, gdyby raczej taki ogrom nieba miał obrót kończyć w ciągu 24 godzin, nie zaś mała odrobina, jaką jest ziemia.» (Ks. I, roz. VI).

Jeżeli to ziemia obraca się dokoła swej osi, to punkty, położone na równiku, które poruszają się z największą szybkością, mają do przebieżenia w ciągu doby okrąg tego równika, czyli przestrzeń, wynoszącą około 40.000 kilometrów, co na sekundę czyni niespełna pół kilometra; szybkość taka uderzać nas nie może, środki bowiem, jakiemi rozporządzamy, pozwalają nam osiągać większe nawet prędkości, jak w pociskach

armatnich. Gdybyśmy zaś obstawać chcieli za ruchem całego nieba, mielibyśmy do czynienia z nieskończonemi, niepojętemi prędkościami.

Dopóki jednak sklepieniu niebieskiemu przyznawano byt rzeczywisty, uważano zatem osadzone na niem gwiazdy za światła, w jednakowej odległości od nas rozłożone, łatwiej więc z ich ruchem dziennym oswoić się można było, aniżeli obecnie, gdy sklepienie to rozwiało się w nicość, gdy wiemy, że jest ono złudzeniem tylko, a bryły niebieskie rozrzucone są w bezgranicznych przestworzach wszechświata. Księżyc oddalony jest od nas na tysiące, słońce i planety na miliony, a gwiazdy stałe na tryliony mil i więcej: trzebaby więc przyjąć, że każde z tych ciał niebieskich obieg swój dzienny dokonywa z prędkością tem większą, im dalej od ziemi przypada, by w ciągu 24 godzin drogę swą ukończyć. Poznamy zaś dalej, że ruchy ciał niebieskich tłómaczymy wzajemnem ich przyciąganiem; aby więc wyjaśnić olbrzymią szybkość obrotu dziennego gwiazd, należałoby przypisać ziemi niewypowiedzianie wielką siłę przyciągania, któraby nadto na bryły dalsze działać musiała potężniej, aniżeli na bliższe. Dodać wreszcie należy, że w ruchu swym dziennym gwiazdy nie toczą się dokoła ziemi, lecz opisują okręgi, których środki przypadają zewnątrz niej, w punktach, gdzie siły żadne nie działają. Wszystkie te sprzeczności ustępują, gdy ziemi naszej ruch obrotowy dokoła jej osi przyznamy. Daleko więc łatwiej przezwyciężyć opór, jaki wrażenie zmysłów uruchomieniu ziemi stawia, aniżeli tonąć w nieskończonych sprzecznościach i niedorzecznościach. Pewne pojęcia o ruchach ziemi napotykamy już w czasach starożytnych; dopatrywano ich w szkole Pytagorejskiej, a mianowicie w pismach Filolausa (470 — 399 przed Chr.); wywody tych filozofów zbyt wszakże są mętne, aby im istotne znaczenie przypisywać można było. Daleko dokładniej i jaśniej zasadę ruchu ziemi wypowiada Arystarch z Samos (około 280 r. przed Chr.), jednakowoż najznakomitsi astronomowie starożytni, Hipparch (w drugim wieku przed

Chr.) i Ptolemeusz (70 — 147 po Chr.), obstawali za nieruchomością ziemi i przyjęli ją za podstawę swego układu świata, który następnie poznamy. Zarzucano wielkim tym mężom, że polegając na pozornym ruchu słońca, ziemię znów unieruchomili. Przy ówczesnym wszakże stanie nauki oparcie się takie na bezpośredniem świadectwie zmysłów było drogą najbezpieczniejszą, i ono to uchroniło astronomię od tych matactw spekulacyjnych, w jakie popadły inne gałęzie wiedzy przyrodniczej. Poglądy tych astronomów utrzymały się przez całe średnie wieki, pomimo to i w owych czasach nie brakło mężów, którzy przeczuwali przynajmniej, że zmianę dnia i nocy obrotowi ziemi raczej, aniżeli sklepienia niebieskiego przypisywać należy. Z pomiędzy nich wymienić można mianowicie kardynała Mikołaja Krebsa, zwanego De Cusa (1401—1464). Jednakże, jak zaznaczyliśmy wyżej, istotnym twórcą nauki o obrocie ziemi jest Mikołaj Kopernik (1473 — 1543), który zasadę tę wypowiedział nie w formie mglistych rojeń, jak rzekomi jego poprzednicy, lecz ściśle i naukowo przeprowadził. Dzieło Kopernika «*De revolutionibus corporum coelestium*» ukazało się dopiero w rok po jego śmierci, a w trzy stulecia później, przełożone zostało na język polski przez Jana Baranowskiego (1854). Stanowi ono epokę w nauce i otwiera dzieje astronomii nowej; istotne wszakże znaczenie jego rozważymy, gdy przyjdzie nam mówić o biegu planet.

W czasach, o wiele po Koperniku późniejszych, z zasady obrotu osiowego ziemi nauka wyprowadziła pewne następstwa, które, gdy doświadczeniem sprawdzone zostały, za dowody tego obrotu ziemi służyć mogą. Najwspanialszym wprawdzie jego dowodem jest cały rozwój astronomii nowej, który się na pomysłach Kopernika, jakby na podstawie swej wspiera; pomimo to dowody, które ruch ten unaoczniają, zawsze będą pamiętne. W początkach jeszcze bieżącego stulecia pisał Laplace: «Jakkolwiek zasada obrotu ziemi ustalona jest ze wszelką pewnością, jaka w naukach fizycznych wystąpić może, jednakże dowód bezpośredni tego zjawiska winien

rozbudzić zajęcie u geometrów i astronomów.» Życzenie to znakomitego autora mechaniki niebieskiej w zupełności urzeczywistnione zostało.

26) Dowody obrotu wirowego ziemi.

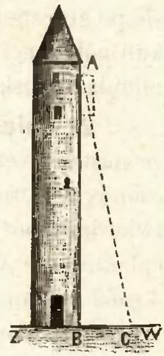
1) **Spadek ciał.** Zarzut, który najsilniej ważył przeciw nauce Kopernika, tyczył się ciał spadających. Jeżeli mianowicie ziemia obraca się od zachodu ku wschodowi, twierdził Tycho Brahe—to kamień, spadający z wieży, paść winien na zachód względem niej, przez czas bowiem, gdy kamień spada, wieża wskutek obrotu ziemi posuwa się ku wschodowi; doświadczenia wszakże nas uczą, że kamień u stóp wieży pada, fakt ten zatem obrotowi ziemi przeczy.

Jeżeli stronnicy Kopernika zarzutu tego odeprzeć nie mogli, tłómaczy się to ówczesnym stanem mechaniki, nieznajomością praw ruchu, a zwłaszcza zasady bezwładności, według której ruch, jakiemu ciało ulega, zachowuje ono i wśród nowych warunków, w jakich znaleźć się może. Dopóki kamień spoczywa na wieży, z powodu obrotu ziemi, razem z nią biegnie ku wschodowi; prędkość tę wszakże, na zasadzie bezwładności, zachowuje i w czasie spadku swego, biegnąc zatem ku dołowi, posuwa się zarazem na wschód i pada u stóp wieży.

Bliższy atoli rozbiór tego przebiegu, jak to okazał Newton, prowadzi do wniosku, że rzeczy się mają wręcz przeciwnie, aniżeli mniemał Tycho Brahe; jeżeli mianowicie ziemia obraca się od zachodu ku wschodowi, to kamień spaść winien nie na zachód, lecz na wschód wieży.

Pochodzi to stąd, że wierzchołek wieży *A* (fig. 14) nieco więcej niż jej podstawa *B*, oddalony jest od osi ziemskiej, posuwa się przeto z większą ku wschodowi chyżością, bo w ciągu 24 godzin opisać ma większy nieco okrąg. Kamień na szczycie pozostający ulega temu samemu ruchowi, a spusz-

czony na dół zatrzymuje pierwotną swą prędkość i wyprzedza wolniej biegnącą podstawę wieży, tak, że dosięgnie ziemi w wysuniętym na wschód punkcie *C*. Z rachunków, jakie przeprowadzili Laplace, Gauss i Olbers, okazuje się, że w szerokościach naszych, wschodnie to zboczenie od kierunku pionowego wynosi około 1 milimetra na każde 50 stóp wysokości.



(Fig. 14).

Już za czasów Newtona starał się doświadczenia te przeprowadzić Hooke w Londynie; zrzucał wprawdzie ciała z wysokości zbyt małej (27 stóp) i w warunkach niekorzystnych, prace jego przeto do zamierzonego celu nie doprowadziły.

W r. 1792, podobne doświadczenia wykonywał Guglielmini w Bolonii z wieży degli Asinelli, z wysokości 240 stóp, ale z większem powodzeniem przeprowadził je Benzenberg, w r. 1801 i 1802 z wieży św. Michała w Hamburgu, a w r. 1803 w kopalniach węglach w Schlebusch, w hrabstwie Marchii w Westfalii. Najdokładniejsze zaś doświadczenia zawdzięczamy Reichowi w szybie Trzech Braci pod Freibergiem w górach Kruszcowych. Prace Benzenberga i Reicha okazały niewątpliwie, że ciała spadające uchylają się nieco od linii pionowej ku wschodowi.

Benzenberg, przy wysokości spadku 235 stóp, otrzymał odchylenie 3,997 linii, gdy według rachunku teoretycznego, miało ono w tym przypadku wynosić 3,853 linii; z doświadczeń zaś Reicha okazało się zboczenie 28,396 milimetra, przy wysokości spadku 158,54 metra, co prawie zupełnie zgodnem było z wywodem rachunku 27,512 mm.

Zgodność ta wyników doświadczalnych z rachunkowemi stanowi potwierdzenie rozumowania, które służyło za punkt wyjścia tym pracom.

Nadmienić wypada nadto, że oprócz zboczenia wschodniego, występuje przy spadku ciał i drobne odchylenie ku po-

łudniowi. Jak bowiem każde ciało, biegnące po okręgu, wskutek bezwładności usiłuje utrzymać się na linii stycznej, tak też i ciężar zbiegający z wieży, zachowuje dążność do posuwania się po stycznej do swego równoleżnika; styczna ta zaś na półkuli północnej zwróconą jest ku południowi, względem promienia ziemskiego, czyli względem pionu.

2) Spłaszczenie ziemi. Wyżej już (§ 9), poznaliśmy, że następstwem osiowego obrotu ziemi być musiało jej spłaszczenie, a teoretyczny ten wniosek Newtona i Huyghensa potwierdziły późniejsze pomiary ziemi. Nawzajem tedy, skoro spłaszczenie ziemi stanowi fakt znany, przyjąć go możemy za dowód ruchu wirowego ziemi. Aby zrozumieć równikowe wydęcie ziemi działaniem siły odśrodkowej, przyjąć wprawdzie należy, że w odległej fazie swego bytu, masa jej pozostawała w stanie ciekłym, ale przypuszczenie to zgodnem jest zarówno z wynikiem badań geologicznych, jak i z dociekaniami kosmogonicznemi. Obliczenia wszakże teoretyczne wskazują, że choćby cała bryła ziemska tak zakrzepłą była, jak jej powierzchnia, ulegałaby podobnemuż spłaszczeniu; dowód ten zatem obrotu ziemi nie wymaga bynajmniej poparcia w domysłach o jej dawniejszej historyi lub o jej budowie wewnętrznej.

Potwierdzenie zaś tego dowodu znajdujemy w znaczniejszem spłaszczeniu planet szybcej wirujących. W szczególności Jowisz, największa z planet układu słonecznego, obraca się dokoła swej osi prędzej daleko, aniżeli ziemia, doba jego bowiem trwa dziesięć godzin zaledwie; większa prędkość obrotowa powodować winna większą siłę odśrodkową, a w dalszym ciągu silniejsze spłaszczenie. W istocie też spłaszczenie biegunowe Jowisza wynosi $\frac{1}{14}$, gdy na ziemi, jak wiemy, niewiele przenosi $^1/_{300}$. Wobec tej analogii, dowód obrotu ziemi z jej spłaszczenia większej nabiera siły.

Następstwem ruchu wirowego ziemi i jej biegunowego spłaszczenia jest ubytek ciężkości, w miarę posuwania się od równika ku biegunom, ujawniający się przedewszystkiem

w zwalnianiu ruchu wahadłowego (§ 9 i 12), te zatem objawy również do dowodów ruchu obrotowego ziemi zaliczyć można.

3. Odchylenie wiatrów. Pierwotną przyczyną wszelkich prądów atmosferycznych jest niejednostajne ogrzewanie różnych punktów ziemi przez słońce. Gdyby ciśnienie powietrza w jednakowej nad ziemią wysokości było wszędzie jednakiem, atmosfera pozostawałaby w spokoju; skoro wszakże w różnych punktach ziemi powietrze rozmaicie jest przez słońce ogrzewane, ciśnienie doznaje zmian, równowaga powietrza ulega ciągłym zakłóceniom i bezustannie zrywają się wiatry, by równowagę tę przywracać.

Rozwija się na całej ziemi w wielkich rozmiarach zjawisko, które na drobną skalę zachodzi w zamkniętym, ogrzanym pokoju. Piec stanowi tu źródło ciepła, koło okien jest najzimniej. Powietrze, silnie rozgrzewane w sąsiedztwie pieca, rozszerza się, rozrzedza, staje się gatunkowo lżejszem i wypływa w górę; tam rozlewa się u pułapu i dostaje do okien, gdzie ulega losowi przeciwnemu; ziębnie, kurczy się, staje się cięższem i osuwa na podłogę, a czołgając się po niej, wraca znów do pieca, gdzie się powtarza przebieg poprzedni. Piec zbiera powietrze, ogrzewa je i wyrzuca w górę; okna je studzą i sprowadzają ku dołowi; w pokoju przeto utrzymywać się będą dwa prądy: jeden górny i ciepły, płynie od miejsc cieplejszych ku zimniejszym, drugi, dolny i zimny, przesuwa się od miejsc zimniejszych ku cieplejszym.

Z przyczyn, których wykazaniem zajmiemy się w rozdziale następnym, okolice równikowe, a raczej międzyzwrotnikowe są najcieplejsze na ziemi, obszary biegunowe najzimniejsze; pierwsze tedy stanowią jakby piec naszego pokoju, drugie odgrywają rolę okien. W sąsiedztwie przeto równika występuje prąd powietrza płynącego w górę, który w wyższych sferach atmosfery rozpada się na dwie powłoki, ciągnące górą ku obu biegunom. W górnych, chłodnych warstwach atmo-

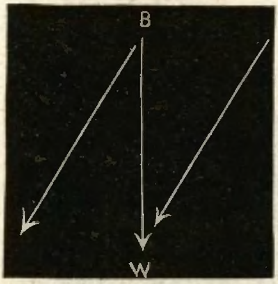
sfery prądy te oziębiają się, obniżają i w okolicach bliższych biegunów sięgają ziemi, skąd znów dołem zmierzają napowrót ku równikowi. Prąd górny, wiejący od równika, zowie się równikowym dolny, płynący od biegunów,—biegunowym; na półkuli północnej prąd równikowy stanowi wiatr południowy, prąd biegunowy — wiatr północny; na półkuli południowej przypadają im nazwy przeciwne.

Wedle powyższego zatem prostego uzasadnienia, powinniśmy na półkuli północnej doznawać statecznie wiatru północnego, gdy współcześnie ponad nami przebiegać ma wiatr południowy. Pospolite wszakże spostrzeżenia wniosków tych nie potwierdzają; wiadomo powszechnie, że wiatr czysto północny dosyć tylko rzadko występuje, przeważnie natomiast wieją wiatry północno-wschodnie i południowo-zachodnie. Pierwotny zatem prąd północny skręca ku zachodowi, prąd południowy ku wschodowi; przyczyną, która to odchylanie wiatrów powoduje, jest według Hadleya (1735) obrót ziemi dokoła osi.

Ponieważ wszystkie punkty ziemi obrót swój około osi ziemskiej kończą w jednakim czasie, miejsca zatem od tej osi więcej oddalone biegną szybcej, aniżeli miejsca mniej od niej usunięte; najprędszemu ruchowi ulegają więc punkty na równiku położone, inne posuwają się tem wolniej, im bliżej biegunów przypadają. Według zaś kilkakrotnie już przez nas stosowanej zasady bezwładności, ciało każde, w ruchu lub spoczynku pozostające, usiłuje utrzymać stan swój pierwotny, a to tłómaczy odchylenie cząstek powietrza, na północ lub na południe biegnących.

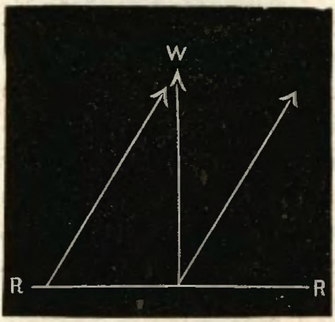
Pozostańmy na półkuli północnej i uważmy najpierw prąd biegunowy. Z okolic biegunowych *B* płynie wiatr do miejsca *W* (fig. 15) wzdłuż pewnego południka; w miejscach, skąd przybywa, masa powietrza, wskutek obrotu ziemi, posuwała się ku wschodowi, a na zasadzie bezwładności ruch ten zatrzymuje i wtedy, gdy w drogę ku południowi wyruszyła. Punkt wszakże *W* posiada ku wschodowi szybkość większą, wyprze-

dza tedy sunący do niego prąd powietrza, prąd ten pozostaje więc w tyle względem południka, po którym płynął pierwotnie i dobiega do punktu bardziej zachodniego, gdy do uważanego miejsca *W* przybywa prąd z okolic wysuniętych ku wschodowi; zatem z punktu położonego między północą a wschodem, skąd wiatr północy staje się północno-wschodnim.



(Fig. 15).

Prąd równikowy ulega losowi przeciwnemu. Do miejsca *W* płynie wiatr z okolic równikowych, zachowując w tej drodze ku północy pierwotną swą szybkość ku wschodowi; punkt *W* również posuwa się ku wschodowi, ale wolniej, pozostaje więc w tyle względem kierunku płynącego do niego wiatru; wiatr zaś ten wyprzedza południk, po którym sunął pierwotnie i przybywa do miejsca wysuniętego więcej ku wschodowi, gdy do punktu *W* dopływa wiatr z okolic bardziej zachodnich, od punktu położonego między południem a zachodem: wiatr tedy południowy staje się południowo-zachodnim.



(Fig. 16).

Dążność tę wiatrów do odchylania się pod wpływem obrotu ziemi ująć możemy treściwiej. Jeżeli bowiem staniemy w kierunku wiatru, zatem zwróceni plecami ku punktowi, skąd wieje, z obu ostatnich rysunków dostrzegamy, że odchyla się na prawo. Skądkolwiek zatem wiatr przybywa, ma on zawsze na półkuli północnej dążność do odchylania się w stronę prawą. Podobne rozważania łatwo wykazują, że na półkuli południowej, skądkolwiek wiatr wieje, odchyla się na lewo; wiatr południowy (biegunowy) staje się tam połu-

dniowo-wschodnim, wiatr północny (równikowy) północno-zachodnim.

Prawidłowy ten rozkład wiatrów napotykamy zresztą jedynie w pasie ziemi, rozciągającym się na 30⁰ po obu stronach równika, prądy bowiem równikowe nie dobiegają biegunów, by tam dopiero ku powierzchni ziemi się opuszczać, ale, oziębione w górnych warstwach, już w szerokościach około 30⁰ obniżają się ku powierzchni ziemi i stąd ku równikowi nawracają. W tamtych też stronach, od brzegów Hiszpanii i Afryki północnej wieje dobrze znany żeglarzom stateczny wiatr północno-wschodni ku brzegom Ameryki środkowej; prąd ten właśnie doprowadził Kolumba do lądów nieznanych i późniejszym żeglarzom ułatwiał drogę do Ameryki, skąd na oznaczenie tego wiatru statecznego poszła nazwa passatu. Prąd równikowy, wiejąc tam w warstwach górnych, bezpośrednio uwadze się nie nastręcza; obecność swą zdradza jednak kierunkiem biegu lekkich chmurek pierzastych, smugami dymów wzbijających się z wysokich wulkanów, a nawet i wyrzucanym przez nie popiołem, czyli deszczem wulkanicznym. Tak np. 1 maja 1812, deszcz wulkaniczny, wyrzucony przez wulkan wyspy św. Wincentego, zasypał wyspę Barbadoes z grupy Małych Antylów, położoną o 20 mil na wschód, lubo w dolnych warstwach atmosfery wiał bezustannie passat północno-wschodni, w kierunku od Barbadoes ku św. Wincentemu. W okolicach bardziej północnych, gdzie prąd równikowy więcej się już obniża, można go nawet dostrzedz bezpośrednio; tak np. wieje on na szczycie Teneryfskim, gdy u spodu, na Maderze, płynie prąd północno-wschodni.

W znaczniejszych od równika odległościach wpływ tych prądów statecznych słabo się już ujawnia, jesteśmy tu w obszarze wiatrów zmiennych. Charakter wiatrów zależy w każdym czasie od chwilowego rozkładu ciśnień atmosferycznych. Prądy powietrza zmierzają do punktów, gdzie występuje najniższe ciśnienie atmosferyczne czyli minimum barometryczne, albo odbiegają od punktów największego ciśnienia czyli od maxi-

mum barometrycznego. Współcześnie wszakże ujawnia się i wpływ obrotu ziemi, który poruszoną masę powietrza odchyla na półkuli północnej zawsze na prawo, na południowej zawsze na lewo. Wynikiem tych działań jest ruch wirowy powietrza, występujący jako cyklon dokoła minimum, lub jak antycyklon dokoła maximum ciśnienia; objaśniają to dostatecznie załączone ryciny, z których fig. 17 przedstawia cyklon, fig. 18 antycyklon półkuli północnej; fig. 19 cyklon, fig. 20 antycyklon półkuli południowej; widzimy tu, jak spiralny obieg wiatrów powstaje skutkiem odchylania się na prawo lub na lewo prądów, dążących do pewnego środka, lub od pewnego środka wybiegających. Obserwacye meteorologiczne wykazują, że skręcenia takie wiatrów są powszechne przy wszelkich zakłóceniach atmosfery; skoro zaś inną drogą wytłómaczyć ich nie można, służyć mogą za dowód obrotu osiowego ziemi.



(Fig. 17).



(Fig. 18).



(Fig. 19).

Wielkość tego odchylenia nie jest jednaką w różnych punktach ziemi, ale zależy od szerokości geograficznej. Najznaczniejszem jest ono na biegunach; jeżeli wyobrazimy sobie prąd powietrza sunący tam, wzdłuż któregokolwiek południka, to w ciągu doby doznałby on odchylenia o pełny okrąg koła, czyli o 15 stopni na godzinę, albo o 15 sekund łukowych na sekundę czasu. Pod równikiem, gdzie odchylenie na

prawo półkuli północnej przechodzi w odchylenie na lewo półkuli południowej, niknie ono zupełnie; z tego zaś już wypływa, że powiększa się ono w miarę, jak od równika posuwamy się ku biegunowi, czyli wzrasta razem z szerokością miejsca, a pod 30^0 szerokości wynosi już połowę tego, co na biegunie, zatem $7^1/_2$ stopnia na godzinę. Już z tego widzimy, że wielkość odchylenia nie jest proporcyonalną do szerokości miejsca, ale, jak uczy dokładne rozpatrzenie matematyczne tego zjawiska, jest z nią związane w inny sposób, jest bowiem proporcyonalne do wstawy szerokości geograficznej. Do zależności tej zresztą wrócić jeszcze będziemy zmuszeni.



(Fig. 20).

4. Odchylenia innych ruchów poziomych na powierzchni ziemi. Podobnie jak prąd powietrza, nad powierzchnią ziemi sunący, tak też wszelki inny ruch poziomy na ziemi wpływowi jej obrotu w taki sam sposób ulegać musi.

Ujawnia się to przedewszystkiem w olbrzymich rzekach oceanicznych czyli w prądach morskich. Wielkie to zjawisko przyrody ziemskiej dotychczas wprawdzie nie jest zupełnie zbadane i wyjaśnione, niewątpliwie wszakże zależy ono od zbiegu kilku przyczyn; między niemi stawiano poprzednio na pierwszym planie różnicę temperatury wód zwrotnikowych i biegunowych, obecnie główny nacisk kładzie się na działanie wiatrów statecznych, które ruchliwą masę wody z sobą porywają. Jakakolwiek bądź jednak jest naczelna podnieta tych prądów, zawsze ulegają one wpływowi obrotu ziemi w podobny sposób, jak i prądy powietrzne, na półkuli zatem północnej odchylają się na prawo. Okazuje to szczegółowy rozbiór oddzielnych prądów, chociaż dla wielu wikłających momentów, które na nie oddziaływają, dążność ta nie tak łatwo, jak przy prądach atmosferycznych dostrzedz się daje.

Wpływ obrotu ziemi na odchylenie boczne ciał w ruchu będących, tem jest wybitniejszy, im ruch ten jest szybszy, winien się zatem ujawnić w biegu pocisków armatnich, jak to wykazał d'Alembert w r. 1771. Przy obecnej zwłaszcza, znacznej doniosłości potężnych dział, odchylenie kul armatnich od kierunku, w jakim je rzucono, posiada praktyczne dla balistyki znaczenie, a doświadczenia łatwo je wykazać mogą.—W objawach dotychczas przytaczanych, droga ciała w ruchu pozostającego była zupełnie swobodną, bez przeszkód zatem ulegać mogło odchylającemu je wpływowi; jeżeli natomiast ciało posuwa się po drodze wytkniętej, dajmy w rurze, dążność ta do odchylenia wykaże się w ciśnieniu wywieranem na ścianę prawą na półkuli północnej,a na ścianę lewą na półkuli południowej.

Uwaga ta daje się zastosować przedewszystkiem do rzek. Pod wpływem obrotu ziemi prąd wody odrzucany jest na półkuli północnej na prawo; na brzegu zatem prawym woda piętrzyć się winna wyżej, a brzeg ten, jako silniej napastowany, stawać się musi wyższym i bardziej stromym. Na rzecz tę zwrócił uwagę Baer w r. 1860; ulegając wszakże błędnemu mniemaniu, że obrót ziemi wywiera wpływ jedynie na ruchy zachodzące w kierunku południków, przyjmował, że zużywanie takie łożyska rzek wybijać się musi tem silniej, im bardziej kierunek ich biegu zbliżony jest do południkowego; w rzekach zatem płynących ku północy silniej napastowanym być musi brzeg wschodni, w rzekach płynących ku południowi brzeg zachodni. Obrót wszakże ziemi działa odchylająco nie tylko na ruchy dokonywające się w kierunku południków, ale w równej mierze wpływa na każdy ruch, w jakimkolwiek zachodzi kierunku, dla tego zasadę Baera należałoby rozciągnąć do wszelkich rzek, w jakimkolwiek bądź płyną kierunku.

Tak rozszerzona zasada Baera jest teoretycznie zupełnie słuszną i znalazła rzeczywiście gorliwych stronników, którzy na jej poparcie znosili dowody z różnych okolic ziemi. Bliższy jednak rachunek wykazał, że oddziaływanie obrotu ziemi wywołać może na łożysko rzek skutek bardzo tylko nieznaczny

który niknie zupełnie wobec wielu innych przyczyn, pracujących bezustannie nad przeinaczeniem łożysk rzecznych.

W podobnych zupełnie warunkach, jak wybrzeża rzeczne, znajdują się też szyny dróg żelaznych; na niektórych też drogach zauważono, że szyny po prawej stronie względem kierunku biegu położone, silniejszemu aniżeli lewe naciskowi ulegają i więcej z miejsca swego bywają spychane. I tu jednak po dokładnem rozejrzeniu okazało się, że wpływ obrotu ziemi na przesuwanie szyn jest zupełnie podrzędny. Wogóle w tej kwestyi łatwo o przesadę, jakiej też dopuścili się rzeczywiście niektórzy pisarze, dopatrujący się w najrozmaitszych ruchach na naszej półkuli owej dążności zbaczania na prawo.

5. Odchylenie wahadła. Najwidoczniejszy i jakby dotykalny dowód obrotu wirowego ziemi daje nam odchylanie się czyli skręcanie płaszczyzny wahań. Dowód ten, dostarczony przez Foucaulta w r. 1851, urzeczywistnia w sposób świetny wyrażone wyżej pragnienie Laplace'a.

Dowód Foucaulta polega na tej zasadzie, że wahadło raz w bieg w pewnym kierunku, po pewnej płaszczyźnie puszczone, zachowuje statecznie pierwotny swój kierunek; czyli innemi słowy, wahadło nie może samo przez się zmieniać swej płaszczyzny wahań. Przyczyną tego jest tu, oczywiście, znowu bezwładność, do której tyle już razy wypadło nam się odwoływać: niema po prostu powodu, dla któregoby wahadło, kołysząc się z początku, dajmy, od wschodu ku zachodowi, zaczęło po pewnym czasie przebiegać drogę od południa ku północy. Choćby nawet punkt, na którym wahadło jest zawieszone, miejsce swe zmieniał, na kierunek płaszczyzny wahań niema to wpływu żadnego, byleby zawieszenie było zupełnie swobodne.

Jeżeli wszakże obserwować będziemy wahadło przez pewien czas, przez kilka godzin, dostrzeżemy, że kierunek, czyli płaszczyzna wahań skręca się, obraca ku zachodowi. Spostrzeżenie to zrobili jeszcze podobno członkowie dawnej akademii

florentyńskiej *del cimento* (1657—1667) i niektórzy inni dawniejsi uczeni, niewytłómaczone jednak nie zwróciło na siebie uwagi i uległo zapomnieniu; Foucault dopiero dostrzegł w tem zjawisku widoczny objaw obrotu ziemi dokoła jej osi.

„Przypuśćmy, mówi Foucault, że obserwator, znajdujący się na jednym z dwu biegunów, posiada wahadło jak najprostsze, złożone z ciężkiej, jednorodnej kuli *M* (fig. 21), zawieszonej na giętkiej nitce *f* u stałego punktu *c*. Przyjmijmy dalej, że punkt ten przypada dokładnie na przedłużeniu osi ziemskiej i że podtrzymujące go podpory nie biorą udziału w ruchu dziennym ziemi. Jeżeli w takich warunkach wyprowadzimy wahadło z jego położenia równowagi, nie nadając mu uderzenia bocznego, i pozostawimy je działaniu siły ciężkości, to jego środek ciężkości powróci do pierwotnej linii pionowej, a następnie w skutek prędkości nabytej, podniesie się po drugiej stronie prawie do tej samej wysokości, z jakiej wyszedł. W ten sposób wahadło kołysze się po łuku, którego płaszczyzna jest oznaczona i która z powodu bezwładności materyi zachowywać będzie niezmienne położenie w przestrzeni. Jeżeli więc wahania te trwają przez pewien czas, to ruch ziemi, która się obraca bezustannie od zachodu ku wschodowi, uwidoczni się przez sprzeczność z nieruchomością płaszczyzny wahań: płaszczyzna ta mianowicie przyjmie ruch pozorny w kierunku przeciwnym, zatem zgodny z obrotem kuli niebieskiej, od wschodu na zachód. Jeżeli wahania te trwać będą godzin 24, to płaszczyzna ich wykona obrót zupełny około punktu zawieszenia.

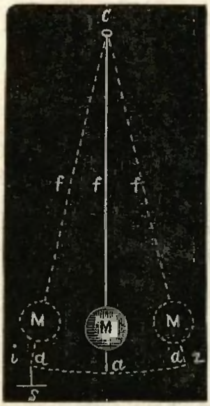


Fig. 21.

„Są to warunki idealne, w których obrót ziemi około osi stałby się widocznym dla oka obserwatora. W rzeczywistości jednak podporę umieścić trzeba na podstawie ulegającej obrotowi; części, u których utwierdzony jest górny koniec wahadła,

nie można usunąć z ruchu dziennego. Możnaby się przeto w pierwszej chwili obawiać, że ruch ten, udzielający się nitce i kuli, zmieni kierunek płaszczyzny wahań. Teorya wszakże nie okazuje tu istotnej trudności, a z drugiej strony doświadczenie nauczyło, że można nitkę w tym lub owym kierunku dosyć prędko około siebie obracać, a to na położenie płaszczyzny wahań nie wpłynie, byleby tylko nitka była okrągłą i jednorodną, — opisane przeto wyżej doświadczenie powieść się musi na biegunie w zupełnej czystości.”

Krótko mówiąc, płaszczyzna wahań pozostaje nieruchomą. Jeżeli więc wahadło będzie zawieszone nad biegunem, to ziemia pod niem obracać się będzie od zachodu na wschód, a że ruchu ziemi nie dostrzegamy, wydawać się nam będzie, jakoby wahadło obracało się od wschodu na zachód, tak, że całkowity obrót ukończyłoby w ciągu 24 godzin. Pozorny ruch ten wahadła można uwidocznić, posypawszy pod niem piasku i zakończywszy kulę wahadła rylcem; jeżeli w pierwszem wahnięciu rylca nakreśli rysę 1 — 2, to w drugiem, gdy płaszczyzna wahnięć z położenia swego zejdzie, rysę 3 — 4, w trzeciem rysę 5 — 6, dalej 7 — 8, 9 — 10 i t. d., a po 24 godzinach piasek zupełnie będzie zmiecionym.

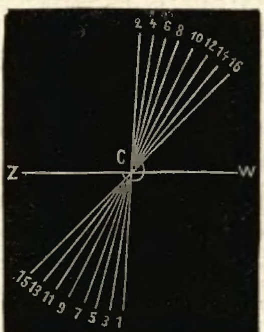


Fig. 22.

Biegun wszakże, nawet północny, jest niedostępny i wahadła zawiesić tam nie można. Zawieszenie go na równiku nie wydałoby żadnego rezultatu, tam bowiem wahadło wskutek obrotu dziennego ziemi nie okazałoby zgoła zboczenia; gdybyśmy je, dajmy na to, wprawili w ruch w kierunku południka, to jest tak, aby przebiegało od północy ku południowi, to ono posuwałoby się ciągle wraz z tym południkiem, i ciągle kołysałoby się w kierunku północno-południowym, zboczenia przeto względem południka nie byłoby żadnego. Skoro przeto na biegunie wahadło obraca

się całkowicie w ciągu 24 godzin, a na równiku wcale się nie obraca, można już wnosić, że w szerokościach pośrednich, czyli w miejscach położonych między biegunem a równikiem, obrót będzie tem wolniejszy, im miejsce dalej jest położone od bieguna, czyli im mniejszą jest jego szerokość geograficzna.

Powtarza się tu ta sama zasada, która się tycze w ogólności odchylania ruchów poziomych pod wpływem obrotu ziemi, a którą tu objaśnia fig. 23. Przypuśćmy, że w punkcie *M*, położonym na południku *B M B'*, wprawiono wahadło w ruch w płaszczyźnie tegoż południka; kierunek zatem wahań wskazuje linia *M C*. Gdy wskutek obrotu dziennego ziemi punkt *M* przejdzie do *N*, wahadło kołysać się będzie wciąż w jednakiej płaszczyźnie, zatem w kierunku *N T*; gdy więc poprzednio płaszczyzna wahań przypadała na południka, obecnie od południka *B N B'* odchyloną jest o kąt *T N C*. Kąt

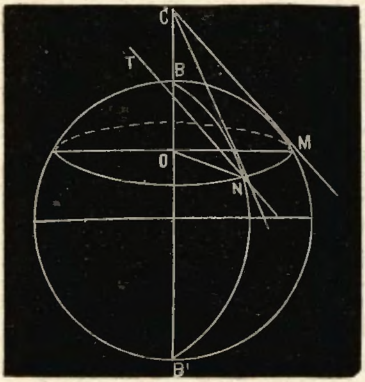


Fig. 23.

zaś, o jaki w tymże czasie obrócił się punkt *M* w skutek obrotu ziemi, jest *M O N*. Kąt *T N C* dający odchylenie wahadła od południka, równy jest kątowi *M C N*, jako naprzemianległemu, ten zaś ostatni, jak łatwo wnieść z figury (trójkąt *M N C* bardziej jest wydłużony aniżeli *M N O*), mniejszy jest od kąta *M O N*. Jeżeli więc, np., obserwacya trwała godzinę, punkt *M* na ziemi ubiegł $^1/_{24}$ części okręgu koła czyli 15^0, wahadło zaś od południka usunęło się o kąt mniejszy od 15^0; gdy zatem dalej po upływie doby, punkt *M* pełny już swój obrót ukończy, płaszczyzna wahań do pierwotnego swego południka, lub w ogólności do pierwotnego położenia jeszcze nie wróci, a na ukończenie pełnego jej obrotu dłużej, aniżeli dobę, czekać należy. Taż sama fig. 23 objaśnia, że na równiku wahadło

płaszczyzny swej wahań nie zmienia. Wprawione bowiem w ruch w kierunku południka, zatem według linii stycznej do południka na równiku, kołysze się stale w płaszczyźnie południka.

Gdybyśmy matematycznie to wnioskowanie dalej prowadzić zechcieli, okazałoby się, że szybkość obrotu wahadła rośnie proporcyonalnie do wstawy szerokości geograficznej miejsca, czyli że tu, dla jednakich zresztą powodów, utrzymuje się ta sama zasada, która się tyczc odchylenia innych ruchów na ziemi pod wpływem jej obrotu. Tak np. szerokość geograficzna Warszawy wynosi 52° 13′6″; wstawa tego kąta stanowi liczbę 0,790351, czyli biorąc okrągło, $^4/_5$. Wahadło zatem, w Warszawie w ruch wprawione, obróci się w ciągu doby o $^4/_5$ całego okręgu koła, a pełny obrót kołowy ukończy dopiero po upływie 30 godzin 23 minut. W ciągu godziny wahadło obróciłoby się na biegunie o 15°, w Warszawie o 11°51′, w Kajennie, jako sąsiadującej już z równikiem, o 1°19′ zaledwie.

Dla sprawdzenia tych wywodów teoretycznych zawiesił Foucault wahadło w jednej z piwnic paryskich. Wahadło to miało 2 metry długości i uczepione było w silnej osadzie żelaznej, wprawionej w sklepienie piwnicy; składało się ono z kuli mosiężnej, ważącej 5 kilogramów, zawieszonej na drucie stalowym, mającym około milimetra grubości; kula posiadała z dołu ostry rylec, przypadający na przedłużeniu drutu. Odchylano je na kilka lub kilkanaście stopni i puszczano ostrożnie, tak, aby nie ulegało bocznemu skręceniu. Zboczenie wahadła już po upływie pół godziny dawało się dostrzedz wyraźnie. Następnie przeprowadził Foucault to doświadczenie na większą skalę, zawiesiwszy w sali południkowej obserwatoryum paryskiego wahadło długości 11 metrów; ono zaś przy tak znacznej długości, powoli się kołysząc, pozwalało dojrzeć zboczenie już po dwu wahnięciach swoich. Doświadczenia te, tak widocznie ujawniające obrót dobowy ziemi, jak łatwo pojąć można, zyskały szybko znaczny rozgłos i powtarzano je w różnych miejscach. Wykonywał je Secchi w Rzymie, Garthe w katedrze kolońskiej, Schwerd w równie słynnej katedrze w Spirze. W War-

szawie powtarzał je Prażmowski w obserwatoryum astronomicznem. Jakkolwiek wszędzie obroty wahadeł odbywały się zgodnie z rezultatami obliczeń z góry przeprowadzonych, jednakowoż występowały drobne różnice, jak to w szczególności okazały doświadczenia Bunta w Bristolu. Przyczyną odstępstwa jest to, że zjawisko to przebiega w sposób nieco odmienny, aniżeli wskazuje nasza fig. 22. Według niej bowiem, zdawaćby się mogło, że w czasie każdego oddzielnego wahnięcia płaszczyzna wahań utrzymuje się niezmiennie i przesuwa się dopiero przy następnem wahnięciu; w rzeczywistości wszakże odchylanie płaszczyzny wahnięć dokonywa się nie w taki sposób przerywany, lecz zachodzi bezustannie, w sposób ciągły, a dokładne rozejrzenie rys na piasku, przez rylec wahadła kreślonych, uczy, że składają się one, nie z szeregu linii prostych, jak na fig. 22, ale tworzą daleko bardziej zawiłą figurę geometryczną, której teoretyczne zbadanie nastręcza znaczne trudności.

Matematyk holenderski Onnes zaproponował pewną zmianę w urządzeniu doświadczenia Foucaulta, a przy tej sposobności wykazał, że przy wielu ruchach, które na pozór żadnego związku z obrotami ziemi nie mają, wpływ ten jednak się wybija i mógłby być ujawnionym przez zręczne doświadczenia.

ROZDZIAŁ IV.
OBIEG ZIEMI DOKOŁA SŁOŃCA.

27) Bieg pozorny słońca po sklepieniu niebieskiem.

Niezależnie od osiowego swego obrotu, posiada ziemia ruch jeszcze inny, obiega mianowicie w ciągu roku drogę dokoła słońca, z czem wiąże się zmiana i kolejne następstwo pór roku. Ruchu tego ziemi, podobnie jak i wirowego jej obrotu, bezpośrednio nie czujemy, ujawnia się on nam tylko w pozornym biegu słońca po sklepieniu niebieskiem; od opisania przeto zjawiska tego rozpocząć nam należy.

Jak każda inna gwiazda na niebie, słońce codziennie wschodzi i zachodzi, co jest następstwem pozornego ruchu całego sklepienia niebieskiego, albo raczej osiowego obrotu samej ziemi; gdy jednak wszystkie inne gwiazdy (z wyjątkiem planet) zachowują niezmienne względem siebie położenie, słońce widocznie przesuwa się między niemi po sklepieniu niebieskiem, niejednakową bowiem drogę codziennie przebiega.

Wskazuje nam to pobieżna już obserwacya. W zimie, w południe nawet, słońce niewiele nad poziom się wznosi, niewielką tylko przeto ma nad poziomem drogę do przebycia, świeci nam niedługo i dzień jest krótki. Najniższe położenie na niebie w południe zajmuje słońce w końcu grudnia, wtedy też dni są najkrótsze. W ciągu dni następnych dostrzegamy, że słońce w południe coraz się wyżej wzbija, coraz dłuższą drogę nad poziomem przebiega, dnia zatem coraz przybywa, a nocy ubywa, aż w końcu marca następuje porównanie dnia z nocą, dni i noce trwają jednakowo po godzin dwanaście. Od tej chwili dzień zaczyna przemagać i staje się dłuższym od nocy,

słońce bowiem wciąż wyżej w południe nad poziom się wznosi, a najznaczniejszą wysokość osiąga w końcu czerwca. Wtedy jednak następuje przesilenie dnia z nocą; odtąd znów słońce coraz się niżej na sklepieniu niebieskiem podnosi, codziennie ma mniejszą nad poziomem drogę do przebycia, aż w końcu września znów następuje porównanie dnia z nocą. Następnie jeszcze przez trzy miesiące słońce coraz bardziej się zniża, a zgodnie z tem dnia coraz dalej ubywa, i znów w końcu grudnia dni stają się najkrótsze i znów następuje przesilenie, bo odtąd dzień bierze górę i staje się coraz dłuższym.

Wiemy, że gwiazdy, na półkuli południowej nieba się znajdujące, przebiegają nad poziomem mniejszą część swej drogi dziennej, gwiazdy zaś półkuli północnej część jej większą; z tego już zatem domyślamy się, że w półroczu zimowem słońce przypada na południowej, w półroczu letniem na północnej stronie nieba, co łatwo dostrzedz możemy bezpośrednio, gdy pamiętamy położenie równika niebieskiego. Począwszy od końca grudnia, czyli od początku zimy, gdy słońce najdalsze na półkuli południowej nieba zajmuje położenie, zbliża się wciąż ku równikowi, tak, że w końcu marca, na początku wiosny, przypada już na samym równiku. Wtedy przechodzi na stronę północną nieba i przez trzy miesiące posuwa się coraz dalej na północ, a doszedłszy największego oddalenia od równika w końcu czerwca, na początku lata, zawraca stąd na południe; w końcu września, na początku jesieni, jest znowu na równiku i przechodzi na południową część nieba, posuwając się coraz dalej przez trzy miesiące, tak, że w końcu grudnia jest w takiej samej odległości od równika na południe, jak w końcu czerwca było na północnej jego stronie, a stąd znów ku równikowi zawraca.

Te więc spostrzeżenia uczą nas, że słońce nie zajmuje jednego miejsca na niebie, ale wędruje po niem ustawicznie i całą swoją drogę kończy w ciągu roku, przesuwając się wciąż między gwiazdami z półkuli południowej na północną i znów z północnej na południową, dwa razy zatem do roku przechodzi przez równik.

Należy jednak drogę słońca oznaczyć dokładniej. Byłoby to zadanie łatwe, gdyby gwiazdy widoczne były za dnia, dostrzegalibyśmy bowiem bezpośrednio, jak się słońce między niemi przesuwa; gwiazdy wszakże gasną w blasku dziennym, trzeba je przeto rozpatrywać przed wschodem, albo po zachodzie słońca. Skoro więc zaczekamy, aż po zachodzie, w zmierzchu wieczornym, zaczną się gwiazdy na niebie ukazywać, wyróżnić będziemy mogli te, które są w najbliższem sąsiedztwie słońca, te mianowicie, które zajaśnieją w miejscu, gdzie właśnie słońce zaszło. Aby uniknąć niejasności co do wyrażenia o sąsiedztwie słońca i gwiazd, przypomnieć musimy, że mowa tu tylko o sąsiedztwie pozornem, optycznem, nie zaś rzeczywistem, w istocie bowiem, jak już wiemy, gwiazdy stałe przypadają w odległości bez porównania znaczniejszej. Gdy więc mówimy, że słońce jest obok tej lub owej gwiazdy, ma to znaczenie podobne, jak w wyrażeniu, że chmurka pewna jest w pobliżu księżyca lub słońca.

Gdy więc wieczorne dostrzeżenia nasze prowadzić zaczniemy z początkiem wiosny, dostrzeżemy, że wkrótce po zachodzie słońca zbliża się za niem ku zachodowi gwiazda pierwszej wielkości, należąca do gwiazdozbioru Byka, Aldebaran, którą łatwo rozpoznać można po czerwonem jej świetle; w tej epoce roku zatem słońce znajduje się na niebie na zachodniej stronie, względem gwiazdozbioru Byka, zatem w gwiazdozbiorze Barana, który właśnie to położenie względem Byka zajmuje. W czasie najbliższych jednak tygodni słońce zachodzi coraz później, przesuwa się zatem ku wschodowi, przystępując coraz bliżej do Aldebarana, aż wreszcie zachodzi z nim razem i gwiazda ta przestaje być dla nas widzialną. Natomiast, tuż po słońcu zachodzi inny gwiazdozbiór Bliźniąt, dający się rozpoznać po dwu sąsiednich, bardzo jasnych gwiazdach, który w chwili pierwszej naszej obserwacyi, o godzinie wieczornej był dosyć jeszcze wysoko na niebie, daleko od zachodu. W dalszym ciągu słońce zbliża się coraz bardziej do Bliźniąt i wreszcie razem z niemi zachodzi.

Słońce tedy przesunęło się w ciągu naszych obserwacyi od gwiazdozbioru Barana do Byka, a stąd do Bliźniąt; posuwa się ono statecznie od jednych gwiazd do innych, jakby szło naprzeciw nich, czyli biegnie od zachodu ku wschodowi; gdy w ten sposób spostrzeżenia nasze prowadzić będziemy przez rok cały, poznamy wszystkie gwiazdozbiory, między któremi słońce roczną swoją wędrówkę odbywa. Z dnia na dzień zmiana w położeniu słońca jest nieznaczna, lecz po miesiącu, a więcej jeszcze po dwu miesiącach, staje się już uderzająca, po upływie zaś półrocza widok nieba gwiazdzistego jest już zupełnie inny. Gwiazdy, które na wiosnę znajdowały się tuż obok słońca, na jesieni oddalone są od niego o połowę całego pasa niebieskiego, wschodzą więc właśnie w tym czasie, gdy słońce po drugiej stronie nieba zachodzi. To nam tłómaczy, że w godzinach wieczornych, podczas nocy zimowych, inne gwiazdy i inne konstelacye widzimy na niebie, aniżeli podczas nocy letnich. Rozmaitość ta widoku nieba gwiaździstego w różnych porach roku, nie uchodząca najpobieżniejszym nawet dostrzeganiom, wynika więc stąd, że gwiazdy, które w lecie błyszczą w nocy, są w zimie na niebie za dnia; a natomiast gwiazdy, które w lecie były blizko słońca, a zatem występowały na naszem niebie za dnia, w zimie widzimy w nocy.

28) Zodyak czyli zwierzyniec niebieski. Ekliptyka.

W taki sposób, najdawniejsi już obserwatorowie nieba w czasach przedhistorycznych oznaczyli drogę słońca śród gwiazdozbiorów, a rozpoznanie to uważać należy za początek astronomii, jako nauki. Wyróżniono mianowicie dwanaście gwiazdozbiorów, stanowiących jakby «dwanaście domów», z których w każdym słońce w ciągu roku bawi przez miesiąc. Znane powszechnie nazwy tych gwiazdozbiorów są następujące:

Baran ♈	Waga ♎
Byk ♉	Niedźwiadek ♏
Bliźnięta ♊	Strzelec ♐
Rak ♋	Koziorożec ♑
Lew ♌	Wodnik ♒
Panna ♍	Ryby ♓

które to nazwy ksiądz Wyrwicz, autor wybornej na swoje czasy geografii, by zachowanie ich w pamięci ułatwić, ujął w czterowiersz:

Baran idzie przed *bykiem*, po *bliźniętach raki*,
Lew przed *panną* uchodzi, — to są letnie znaki.
Waga chłodzi z *niedźwiadkiem*, *strzelec* zimnem grozi,
Koziorożec ląd wiąże, *wodnik ryby* mrozi.

Te zatem gwiazdozbiory, w liczbie dwunastu, zajmują na niebie dokoła jakby pas, po którym słońce w ciągu roku przechodzi. Pas ten, jak już wiemy, przypada w połowie na północnej, w połowie zaś na południowej stronie nieba; nazwali go Grecy *zodyakiem*, to znaczy *zwierzyńcem*, zapewne stąd, że gwiazdozbiory te po większej części mają nazwy zwierząt.

Skąd się zresztą nazwy te wzięły, powiedzieć dziś niepodobna, pochodzą bowiem niewątpliwie z zamierzchłej bardzo przeszłości, z Chaldei może, którą uważać się zwykło za pierwotną ojczyznę astronomii. Według pewnego prawdopodobieństwa przyjąć można, że nazwy takie, jak: baran, byk, strzelec, wiążą się ze zmiennemi objawami życia zwierzęcego w ciągu roku i z zajęciami rolniczemi; nazwa raka bierze się może stąd, że słońce dosięga tu najdalszego swego położenia północnego i zaczyna się cofać czyli wracać ku równikowi; waga oznacza prawdopodobnie równoważność, t. j. równość dni i nocy i t. d. Zresztą nazwy gwiazdozbiorów zwierzyńcowych, podobnie jak i innych konstelacyi, wiążą się ściśle z mitologią grecką.

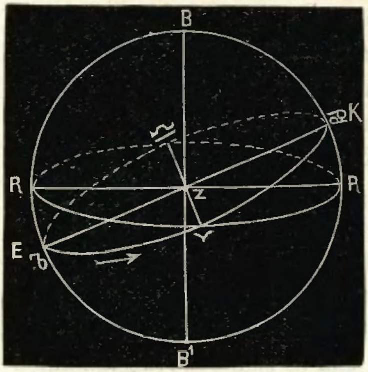
Gwiazdozbiory zwierzyńcowe zajmują, jak to łatwo widzieć możemy na kartach nieba, niejednakowe na niebie prze-

strzenie; stąd też podział zwierzyńca na dwanaście gwiazdozbiorów jest tylko przybliżony i nie mógł się utrzymać, w miarę jak obserwacye astronomiczne stawały się ściślejsze. Dla tego już Hipparch, w drugiem stuleciu przed Chr., podzielił drogę słońca na dwanaście równych części, każdą zatem po 30°, które nazwano *znakami zodyakalnemi* czyli *zwierzyńcowemi* i z których każdy oznacza się nazwą najbliższego gwiazdozbioru, stąd mówimy o znaku Barana, o znaku Byka i t. d.« Znaki zwierzyńcowe» nie są to zatem wyrażenia równoznaczne z «gwiazdozbiorami zwierzyńcowemi», zwłaszcza, że jak to poznamy dalej, znaki te ulegają pewnemu powolnemu ruchowi i oddalają się z biegiem czasu od odpowiednich im gwiazdozbiorów; znak Barana obejmuje obecnie gwiazdozbiór Ryb, znak Byka gwiazdozbiór Barana i t. d.

Słońce więc co miesiąc przenosi się z jednego do następnego znaku zwierzyńcowego, i stąd to znane wyrażenia kalendarzowe: «słońce wstępuje w znak Barana», albo «słońce wschodzi w znaku Barana.» Należałoby właściwie mówić: «słońce jest w znaku Barana;» gdy wszakże gwiazd za dnia nie widzimy, lecz tylko przed wschodem lub po zachodzie słońca, stąd poszło wyrażenie, że słońce wschodzi w tym lub w owym znaku, co wszakże oznacza poprostu, że słońce jest w tym lub w owym znaku; rozumie się bowiem, że gdy słońce wraz z pewną gwiazdą wschodzi, razem z nią przebiega drogę swą dzienną i razem z nią zachodzi. Cały ten zwierzyniec ze swemi gwiazdozbiorami zajmuje na niebie pas dosyć szeroki, a słońce posuwa się po jego linii środkowej, która od dawnych czasów nazywa się *ekliptyką*. Należy tu właściwie brać pod uwagę środkowy punkt słońca; ekliptyka więc jest to droga, jaką w ciągu roku opisuje środek słońca. Podobnie jak równik, stanowi ona wielkie koło na niebie, a że przypada w połowie na północ, w połowie zaś na południe równika, przecinać się z nim zatem musi w dwu punktach, jak to objaśnia fig 24, na której linja *BB'* przedstawia oś świata, okrąg *RR* równik niebieski, okrąg *EK* ekliptykę, ziemię zaś *Z*, jak w poprzednich

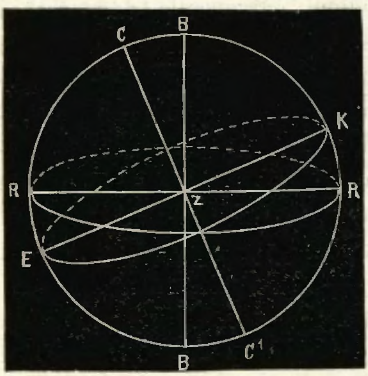
rozważaniach naszych, wyobrażamy sobie jako umieszczoną w środku pozornej kuli niebieskiej.

Ekliptyka *EK* przedstawia nam tu drogę, po której środek słońca przesuwa się w ciągu roku, w kierunku wskazanym strzałką. Dnia 21 marca przypada słońce w znaku Barana ♈ (właściwie, według powyższego określenia należałoby mówić — na początku znaku Barana). Punkt ten przypada w miejscu przecięcia ekliptyki z równikiem, słońce zatem znajduje się wtedy na samym równiku niebieskim. Dnia tego wschodzi ono dokładnie w punkcie wschodnim, zachodzi zaś w punkcie zachodnim poziomu, i jak każda gwiazda na równiku będąca przebiega jednakową drogę nad i pod poziomem każdego miejsca na ziemi; dzień zatem na całej ziemi równy jest nocy. Dlatego punkt ten przecięcia równika z ekliptyką nazywa się *punktem równonocnym* (*ekwinokcyalnym*), a w szczególności punktem *równonocnym wiosennym*, chwila bowiem przejścia słońca przez ten punkt znaczy (dla półkuli północnej ziemi) początek wiosny. Stąd udaje się słońce po drodze swej na północ równika, staje się gwiazdą północną, wschodzi w miejscach położonych na północ względem wschodniego punktu poziomu, przebiega dla mieszkańców półkuli północnej, jak każda gwiazda północna, drogi dłuższe nad poziomem, aniżeli pod poziomem, i zachodzi w punktach położonych na północ względem zachodniego punktu poziomu. Mamy wtedy dnie dłuższe od nocy, największą zaś długość osiąga dzień 20 czerwca, gdy słońce najwięcej jest od równika na północ oddalone, czyli gdy przypada w punkcie *K*, w znaku



(Fig. 24).

Raka ♋. Obserwacye nauczyły, że największe to oddalenie słońca od równika wynosi (prawie) $23^1/_2{}^0$; odtąd, jak widzimy na rysunku, zaczyna ono znów wracać ku równikowi, a dnie stają się już krótsze. Stąd punkt ten, znak Raka, nazywa się *punktem przesilenia* (dnia z nocą) *letniego*, albo *stanowiskiem letniem* (solstitium). Przez dalsze trzy miesiące słońce zbliża się ku równikowi i dobiega dnia 20 września do znaku Wagi ♎; wtedy znowu jest gwiazdą równikową, dzień zatem znowu równy jest nocy, punkt ten jest więc *punktem równonocnym jesiennym*. W ciągu następnego półrocza bawi już słońce na półkuli południowej nieba, jest gwiazdą południową, wschodzi i zachodzi w punktach położonych na południe względem wschodniego i zachodniego punktu poziomu, dnie są dla nas krótsze od nocy. Dnia 21 grudnia dochodzi słońce do punktu *E*, do znaku Koziorożca ♑, a jak widzimy, znajduje się wtedy w największem swem oddaleniu południowem od równika, wynoszącem również $23^1/_2{}^0$, dnie są wtedy najkrótsze; punkt ten zatem nazywa się *punktem przesilenia zimowego*, albo punktem *stanowiska zimowego*. Odtąd słońce znów wraca ku równikowi, dążąc do punktu równonocnego.



(Fig. 25).

Linia ♈ ♎, łącząca oba punkty równonocne, jest linią, według której płaszczyzna ekliptyki przecina się z płaszczyzną równika, i nazywa się *linią równonocną*. Obie te płaszczyzny tworzą między sobą kąt, którego miarę stanowi łuk *KR*, oznaczający największe oddalenie słońca od równika, czyli największe jego *zboczenie*; a że, jak widzieliśmy, naj-

większe to zboczenie słońca czyni $23\frac{1}{2}^0$, przeto i nachylenie ekliptyki względem równika, czyli jej pochyłość, wynosi $23\frac{1}{2}^0$, albo dokładniej $23^0 28'$.

Jeżeli przez środek kuli niebieskiej Z (fig. 25) wyobrazimy sobie poprowadzoną linię CC' prostopadłą do płaszczyzny ekliptyki, to linia ta stanowić będzie *oś ekliptyki*, tak jak linia BB, prostopadła do równika, jest osią równika czyli osią świata. Punkty C i C', w których oś ekliptyki spotyka się z pozorną kulą niebieską, stanowią *bieguny ekliptyki*; jak łatwo widzimy, kąt BZC = kątowi KZR, bieguny zatem ekliptyki od odpowiających im biegunów świata oddalone są również o $23\frac{1}{2}^0$.

29) Wyjaśnienie pór roku.

Z biegiem słońca dokoła ziemi wiąże się bezpośrednio kolejne następstwo pór roku, ujawniające się przedewszystkiem w niejednakowej długości dni i nocy, oraz rozmaitość temperatury, jaka w różnych okresach roku panuje. Jakkolwiek już rozważania dwu ostatnich ustępów wyświetliły nam rzecz tę w ogólnych zarysach, należy nam ją teraz rozpatrzeć dokładniej.

Ponieważ jedynem źródłem ogrzewania powierzchni ziemi są promienie słoneczne, przyczyna zatem zmienności w natężeniu tego ogrzewania zależeć musi od zmiennego położenia słońca względem ziemi. Skoro zaś wiadomo, że natężenie promieni ciepła, podobnie jak i światła, zawisło od odległości, w jakiej od ich źródła znajduje się ciało na działanie ich wystawione, nasunąć się może domysł, że ziemia w ciągu roku w niejednakowem zawsze od słońca pozostaje oddaleniu i że ta okoliczność powoduje zmienne jej ogrzewanie.

Opisaliśmy wprawdzie ekliptykę, jako koło wielkie na niebie, nie znaczy to wszakże, iżby rzeczywiście droga ziemi miała być okręgiem koła. Rozpatrując bowiem ciała niebieskie, nie oceniamy istotnej ich odległości, ale przenosimy czyli odrzucamy je na pozorną sferę niebieską; tak samo i słońce,

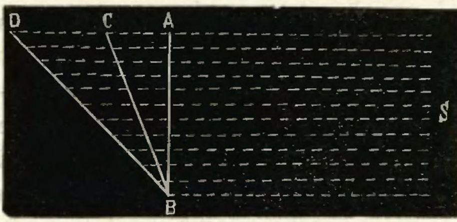
w każdem jego położeniu, a zatem i całą jego drogę przenosimy na sferę niebieską. Droga więc słońca wydaje się nam w każdym razie okręgiem koła na pozornem sklepieniu niebieskiem, lubo w rzeczywistości może mieć postać odmienną.

Rozglądając codziennie tarczę słoneczną, nie dostrzegamy żadnej zmiany w jej wielkości, a stąd wnosić możemy, że słońce przypada statecznie w jednakiej od nas odległości. Pomiary jednak dokładne uczą, że rzeczywiście średnica tarczy słonecznej przedstawia nam w ciągu roku wielkość nieco zmienną, — wydaje się ona nam największą około 31 grudnia, najmniejszą około 1 lipca; z czego wypada, że słońce bliżej jest ziemi w pierwszej, aniżeli w drugiej epoce roku. Poznamy wszakże dalej, że różnica między najmniejszem a największem oddaleniem słońca od ziemi jest zbyt drobną, by powodować mogła znaczną na ziemi zmienność warunków klimatycznych; średnia bowiem odległość słońca wynosi około 20, najmniejsza $19^1/_2$, największa $20^1/_2$ milionów mil geograficznych. Różnica zatem między najmniejszą a największą odległością wynosi $^1/_{20}$ część odległości średniej słońca od ziemi. Wiadomo zaś z fizyki, że natężenie promieni światła i ciepła słabnie w stosunku kwadratów z odległości, różnica przeto w natężeniu promieni, dochodzących od słońca do ziemi, w epoce najmniejszego i największego oddalenia wynosi zaledwie $(^1/_{20})^2$ czyli $^1/_{400}$, nie może więc być źródłem sprzeczności między temperaturą lata i zimy. Co większa, jedna i taż sama pora roku nie występuje współcześnie na całej ziemi, lecz gdy na półkuli północnej panuje lato, na południowej sroży się zima, a przecież obie w danej chwili w jednakiej pozostają od słońca odległości. Epoka największego zbliżenia słońca do ziemi przypada na porę zimową półkuli północnej, a na porę letnią półkuli południowej; najbardziej zaś oddala się słońce od ziemi w porze letniej półkuli północnej, a w porze zimowej półkuli południowej. Okoliczność ta nie pozostaje bez pewnego wpływu na klimat obu półkul, zimy mianowicie półkuli południowej są mroźniejsze aniżeli północnej, i w ogólności ta

ostatnia pozostaje obecnie w korzystniejszch warunkach klimatycznych, aniżeli pierwsza; przyczyna jednak zmienności pór roku, powtarzamy, nie polega na niejednostajnej odległości słońca od ziemi.

Natężenie promieniowania, padającego na daną powierzchnię, zależy nietylko od odległości, w jakiej się źródło promieni znajduje, lecz i od kierunku, w jakim one do powierzchni tej dochodzą. Wskazują to najprostsze spostrzeżenia: kartka białego papieru, umieszczona wprost świecy, oświetlaną jest tem słabiej, im bardziej ukośne ma położenie; tak samo ręka, którą naprzeciw ognia trzymamy, doznaje żaru coraz słabszego, w miarę jak ją pochylamy. Przyczyna tej zależności natężenia promieni od ich kierunku jest czysto geometryczna i objaśnia ją dostatecznie fig. 26.

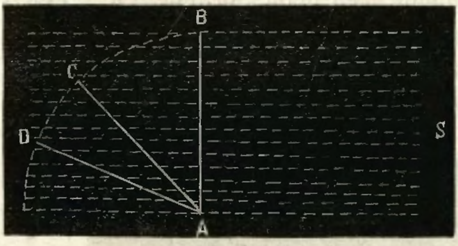
Promienie, wybiegające ze źródła S, napotykają przegrodę AB i padają na nią prostopadle, każda więc jednostka powierzchni tej przegrody, każdy jej centymetr kwadratowy, otrzymuje pewną ilość tych promieni. Po usunięciu przegrody AB promienie padają na przegrodę ukośną CB, widocznie większą, każda tedy jednostka jej powierzchni otrzymuje już mniejszą ilość promieni, natężenie ich więc słabnie; przegroda bardziej ukośna DB jest jeszcze większą, a tem samem na każdą jednostkę jej powierzchni przypada jeszcze mniejsza ilość promieni. W ogólności więc, gdy powiększa się pochyłość padających na daną przegrodę promieni, natężenie ich słabnie. Wyjaśnienie to uzupełnia jeszcze fig. 27, która wskazuje, jak z promieni padających na powierzchnię AB, po przechyleniu jej do położenia AC i AD,



(Fig. 26).

część tylko do niej dochodzi; reszta rozbiega się w dalszą przestrzeń.

Słońce w ciągu roku wznosi się nad nasz poziom do rozmaitej wysokości, promienie jego dobiegają do nas pod różnemi kątami, już to bardziej, już mniej ukośnie, a ten właśnie powód sprowadza niejednostajną ich w ciągu roku działalność i powoduje zmienność pór roku.



(Fig. 27).

Do tego przybywa niejednaka długość dni i nocy. Za dnia promienie słoneczne ziemię ogrzewają, w nocy stygnie ona, długie zatem dnie przyczyniają się do wzrostu temperatury lata, długie noce wzmagają chłody zimowe.

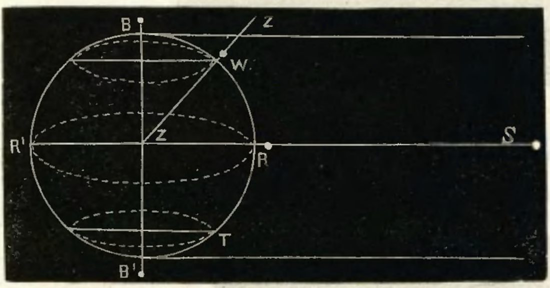


(Fig. 28).

Z tych więc względów wypada nam teraz rozpatrzeć położenie słońca względem ziemi w ciągu roku, przyczem pod uwagę weźmiemy najwybitniejsze tylko chwile. Przedewszystkiem jednak dodać należy, że z powodu znacznej odległości słońca od ziemi promienie jego uważamy za równoległe, co objaśnia fig. 28. Linie *CS*, *DS*, *FS*, *GS*, zbiegają się w punkcie *S*, gdy jednak rozpatrujemy tylko skrajne ich części, po za linią *AB*, wydają się nam one równoległemi. Tak właśnie dzieje się z promieniami słonecznemi, a jeżeli przez środek ziemi poprowadzimy płaszczyznę do kierunku tychże promieni prostopadłą, oddzieli ona stronę ziemi oświetloną od nieoświetlonej.

Wiosna. W początku wiosny, dnia 21 marca, słońce wstępuje w znak Barana i przechodzi przez punkt równonocny,

znajduje się zatem na samym równiku niebieskim. Na fig. 29 okrąg *B R B' R'* przedstawia ziemię, *R R'* jej równik, *BB'* bieguny; równik niebieski stanowi przedłużenie równika ziemskiego, słońce *S* znajduje się więc tego dnia na przedłużeniu lini *R'R*, a promienie jego mają kierunek *SR*. Płaszczyzna do nich prostopadła przechodzi przez oś ziemi, strona więc ziemi *BRB'* posiada teraz dzień, strona *BR'B'* pogrążona jest w nocy. Przy obrocie ziemi dokoła osi każdy jej



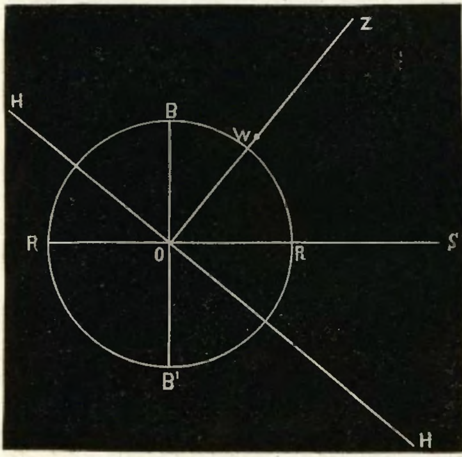
(Fig. 29).

punkt wynurza się kolejno ze strony nocnej na dzienną, a w położeniu wskazanem na fig. 29 punkty *W*, *R*, *T* zwrócone są właśnie ku słońcu i posiadają w tej chwili południe. Widzimy zaś, że przy obrocie ziemi każdy z tych punktów, czy to znajduje się na równiku, czy na półkuli północnej, czy na południowej, bawi jednakowo długo po stronie oświetlonej i nieoświetlonej, płaszczyzna bowiem przechodząca przez oś ziemi dzieli wszystkie równoleżniki na połowy. Pierwszego zatem dnia wiosny na całej ziemi jest dzień równy nocy (str. 100). Mieszkaniec równika, znajdujący się w *R*, ma teraz słońce tuż nad swoją głową, czyli w swoim zenicie, a przy obrocie ziemi wszyscy mieszkańcy równika przez tenże punkt przechodzą; pierwszego zatem dnia wiosny mieszkańcy równika mają słońce w swoim zenicie (w chwili południa). Mieszkańcy biegunów, zarówno północnego jak i południowego, widzą słońce, lecz tuż w swoim poziomie. Mieszkańcy zaś okolic pośrednich, między

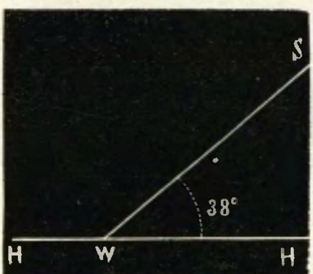
biegunami a równikiem, mają słońce w południe tem wyżej nad swoim poziomem, im są bliżej równika.

Rozpatrzmy w szczególności położenie słońca względem Warszawy, której szerokość geograficzna (odległość od równika) wynosi (około) 52⁰.

Mieszkaniec Warszawy (fig. 30) ma zenit swój w punkcie *Z*, poziom zaś jego, który wyobrażamy sobie poprowadzony przez środek ziemi (str. 67) jest *HH*; słońce przypada na równiku niebieskim w puncie *S*, jest zatem nad poziom wzniesione o kąt *SOH*. Kąt *ZOH*, oznaczający wzniesienie zenitu nad poziom, jest oczywiście prosty, czyli ma 90⁰; kąt *ZOS* albo *WOR* mierzy się łukiem *WR*, który daje odległość Warszawy od równika, wynosi tedy 52⁰, a kąt $SOH = ZOH - ZOS = 90^0 - 52^0 = 38^0$. Słońce przeto dla Warszawy pierwszego dnia wiosny w południe wznosi się nad poziom o kąt 38⁰, promienie słoneczne mają tedy kierunek wskazany na fig. 31. Dnia następnego słońce, w dalszej swej wędrówce po niebie, przechodzi na półkulę północną nieba, zbliża się zatem do zenitu naszego, a oddala od poziomu, promie-



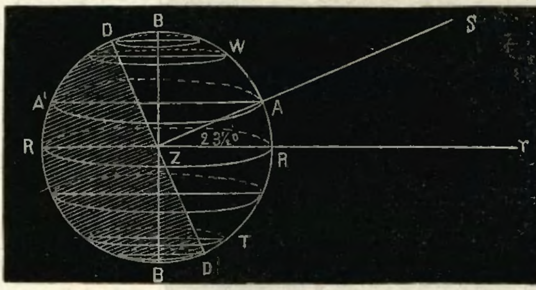
(Fig. 30).



(Fig. 31).

nie dobiegają nas już pod kątem nieco większym, a zarazem i dzień staje się dłuższym, jak to poznamy lepiej przy rozważaniu lata.

Lato. W dalszej swej drodze ku północy, słońce, przeszedłszy po ekliptyce znaki Byka i Bliźniąt, dnia 20 czerwca przybywa do skrajnego swego położenia północnego, jest więc w tej chwili wzniesione nad równik na $23^1/_2{}^0$ i znajduje się na niebie w punkcie *S*, fig. 32, gdzie kąt $SZr = 23^1/_2{}^0$. Promienie zatem słoneczne mają kierunek *SZ*, a płaszczyzna *DD'*, do nich prostopadła, oddziela część oświetloną ziemi od nie-

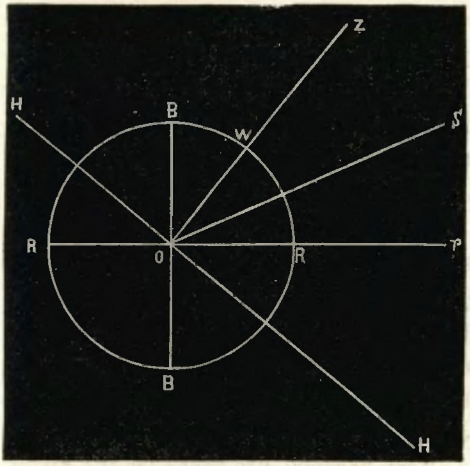


(Fig. 32).

oświetlonej. Przy obrocie dziennym ziemi widzimy, że punkt równika *R* bawi jednakowo długo w części oświetlonej i nieoświetlonej, na równiku zatem dzień jeszcze jest równy nocy; ale punkt *W* półkuli północnej pozostaje dłużej w części oświetlonej, punkt *T* półkuli południowej dłużej w części nieoświetlonej,— na półkuli zatem północnej dzień jest dłuższy od nocy, na południowej dzień krótszy od nocy. Słońce przypada na niebie blizko zenitu punktu *W*, daleko zaś od zenitu punktu *T*, dla półkuli północnej rozpoczyna się lato, dla południowej zima.

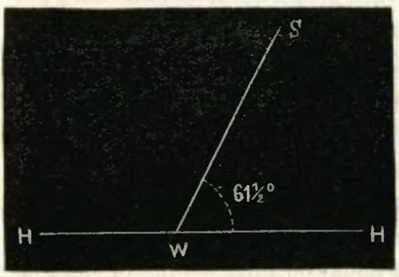
Słońce w swoim zenicie ma teraz mieszkaniec punktu *A*, znajdujący się od równika w odległości $23^1/_2{}^0$; jest to chwila jego południa, a przy dziennym obrocie ziemi położenie to zajmują kolejno wszystkie punkty tegoż samego równoleżnika *A'A*, oddalonego od równika o $23^1/_2{}^0$; wszyscy zatem mieszkańcy tego równoleżnika mają w południe słońce w swoim

zenicie. Jeżeli na fig. 33 *W* oznacza położenie Warszawy, wtedy *Z* jest to jej zenit, *HH* jej poziom; słońce nad poziom wzniesione jest o kąt $SOH = SOr + rOH$. Kąt $SOr = 23^1/_2{}^0$, kąt zaś rOH, jak oznaczyliśmy wyżej, $= 38^0$, skąd $SOH = 23^1/_2 + 38 = 61^1/_2{}^0$, słońce zatem pierwszego dnia lata wznosi się nad poziom Warszawy na $61^1/_2{}^0$, promienie jego przybywają do nas w kierunku wskazanym na fig. 34, daleko bardziej, jak widzimy, zbliżonym do prostopadłości, grzeją więc silniej, co wraz ze znaczniejszą długością dnia sprowadza temperaturę wyższą, niż w początku wiosny.



(Fig. 33).

Na półkuli natomiast południowej promienie przybywają bardziej ukośnie, dnie są krótsze niż noce, tam więc panuje zima. Im bardziej oddalamy się od równika, tem znaczniejszą jest różnica między długością dnia i nocy, którą dla każdego miejsca na ziemi oznaczyć możemy ze stosunku, jaki zachodzi między częścią równoleżnika przypadającą po stronie oświetlonej, a częścią pozostającą po stronie nie-



(Fig. 34).

oświetlonej ziemi (fig. 32). Dla Warszawy długość dnia pierwszej doby lata wynosi 16 godzin 30 minut.

W miejscach bliższych bieguna dzień jest jeszcze dłuższy, a w punkcie D, jak łatwo poznajemy z fig. 32, dzień trwa całą dobę, czyli słońce dnia tego wcale nie zachodzi, bo przy obrocie dokoła osi punkt ten wcale w część nieoświetloną nie wkracza, a słońce przy najniższem swem w ciągu doby na niebie położeniu, w chwili północy, dotyka tylko poziomu, lecz się wcale niżej nie kryje; całą swą drogę dzienną obiega nad poziomem, a dotknąwszy poziomu o północy, wznosić się znow zaczyna. Ponieważ kąty DZA i BZR są proste,

zatem $DZA = BZR$

odjąwszy zaś część wspólną $\underline{BZA = BZA}$.

otrzymujemy $DZB = AZR$,

przeto kąt DZB, a zatem i łuk DB, wynosi $23\frac{1}{2}^0$. Równoleżnik przez punkt ten przechodzący nazywa się *kołem biegunowem północnem*, a oczywiście, pierwszego dnia lata słońce nie zachodzi, jak dla punktu D, tak też i dla każdego innego punktu tego równoleżnika. Tem bardziej nie zachodzi ono i w całym pasie ziemi, zawartym między kołem biegunowem a biegunem.

Dla punktu D', oddalonego od bieguna południowego na $23\frac{1}{2}^0$, rzeczy mają się wręcz przeciwnie, bo dnia tego, przy dziennym obrocie ziemi, punkt ten nie wyziera wcale na stronę oświetloną ziemi; na *kole biegunowem południowem* zatem słońce dnia tego wcale nie wschodzi, a noc bezustanna panuje tak samo i w całym pasie ziemi, ciągnącym się od tego równoleżnika do bieguna południowego.

Jeżeli porównamy fig. 29 z fig. 32, poznamy, że w miarę, jak słońce oddalało się od równika na północ, płaszczyzna, oddzielająca stronę oświetloną ziemi od nieoświetlonej, odchylała się stopniowo od położenia BB' do DD', przez ciąg zatem trzech miesięcy, od końca marca do końca czerwca, dnie na półkuli północnej wciąż wzrastały, a noce stawały się krótsze, gdy na półkuli południowej rzeczy się miały przeciwnie, dnie

bowiem stawały się krótsze. Pierwszego dnia wiosny mieszkańcy równika mieli słońce w swoim zenicie w południe; w ciągu dni następnych przybywało ono kolejno do zenitu mieszkańców równoleżników położonych na północ względem równika, aż pierwszego dnia lata doszło do zenitu mieszkańców równoleżnika AA'. Ale już odtąd słońce dalej się ku północy nie posuwa, wraca ku równikowi, nie dochodzi już zatem do zenitu dalszych mieszkańców ziemi, a w ciągu dni następnych mają je w zenicie swoim znowu mieszkańcy pasa ziemi między równoleżnikiem AA' a równikiem. Stąd to równoleżnik ten, a mianowicie równoleżnik oddalony od równika o $23^1/_2{}^0$, nazywa się zwrotnikiem, a w szczególności zwrotnikiem Raka, bo słońce, znajdując się w zenicie mieszkańców tego równoleżnika, przypada w znaku Raka.

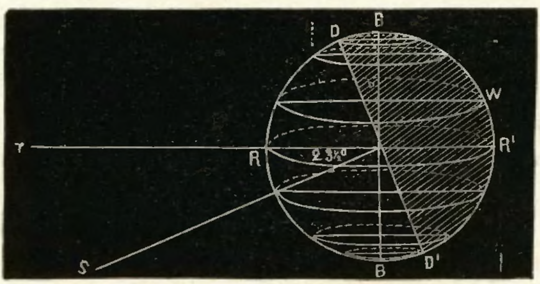
W miarę, jak słońce znów do równika wraca, płaszczyzna DD' przechyla się do położenia BB', dnie na półkuli północnej zaczynają się skracać, na południowej powiększać; dzień zatem pierwszy lata jest to dzień najdłuższy w ciągu roku; na półkuli południowej jest to pierwszy dzień zimy, najkrótszy w ciągu roku.

Dnia następnego po pierwszym dniu lata płaszczyzna DD' już się cokolwiek pochyla ku BB', punkty zatem koła biegunowego północnego już choć na czas krótki zachodzą w stronę nieoświetloną ziemi, posiadają zatem noc, aczkolwiek bardzo krótką. Dnia poprzedzającego pierwszy dzień lata płaszczyzna, oddzielająca stronę oświetloną od nieoświetlonej, miała toż samo położenie, słońce przeto również choć na krótki czas zachodziło; na kole biegunowem zatem najdłuższy w ciągu roku dzień trwa całą dobę. Podobneż rozejrzenie koła biegunowego południowego uczy, że najdłuższa na niem noc trwa również dobę. Punkty jednak bliższe bieguna, położone między kołem biegunowem północnem a biegunem, mają dnie dłuższe, płaszczyzna DD' bowiem bardziej zbliżyć się musi do położenia BB', aby punkty te przy obrocie osiowym ziemi przechodzić mogły w stronę jej nieoświetloną.

W odległości 20^0 od bieguna najdłuższy dzień trwa dwa miesiące, w odległości 10^0 przeszło cztery miesiące, a na samym biegunie sześć miesięcy (str. 68), rozpoczął się bowiem, gdy płaszczyzna oddzielająca część oświetloną ziemi od nieoświetlonej miała położenie BB', a kończy się, gdy ona do tegoż samego wraca położenia. W odpowiednich punktach półkuli południowej trwają wtedy noce również długie.

Jesień. W trzy miesiące po pierwszym dniu lata słońce przybywa 22 września znów na równik do znaku Wagi; płaszczyzna oddzielająca część oświetloną ziemi od nieoświetlonej przechodzi znowu przez oś BB', powtarza się więc stan rzeczy, jak pierwszego dnia wiosny. Dzień na całej ziemi równy jest nocy, a słońce przypada w zenicie mieszkańców równika. Dla półkuli północnej jest to początek jesieni, a pierwszy dzień wiosny dla półkuli południowej. Dnia następnego słońce schodzi na południe równika, na półkuli północnej dnie stają się krótsze od nocy, na południowej, przeciwnie, dnie zaczynają kosztem nocy wzrastać, jak to zrozumiemy wyraźnie z rozpatrzenia fig. 36.

Zima. Po dalszych trzech miesiącach, 22 grudnia, przybywa słońce do skrajnego swego stanowiska południowe-

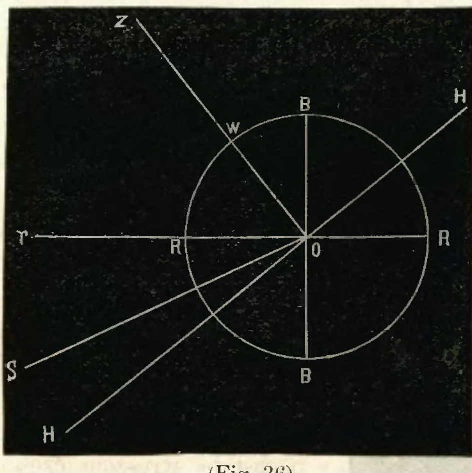


(Fig. 35).

go w znaku Koziorożca; jest więc wtedy o $23^1/_2{}^0$ oddalone na południe od równika, promienie jego (fig. 35) zatem przybywają w kierunku SZ, a płaszczyzna oddzielająca część oświet-

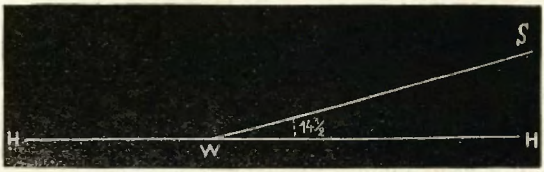
loną ziemi od nieoświetlonej ma położenie DD'. Widzimy, że na równiku dnie są, jak zawsze w ciągu roku, równe nocy, na półkuli północnej krótsze, a na południowej dłuższe od nocy; na kole biegunowem północnem słońce dnia tego nie wschodzi, na południowem nie zachodzi. W ogólności zaś stosunki są takież same, jak na fig. 32, lecz co się tam tyczyło półkuli północnej, teraz odnosi się do południowej,—dla pierwszej jest to początek zimy, dla drugiej początek lata. Na biegunie północnym jest to środek półrocznej nocy, dla bieguna południowego środek półrocznego dnia.

W zenicie swoim mają słońce, w chwili południa, mieszkańcy równoleżnika, oddalonego od równika na południe o $23^1/_2{}^0$; odtąd słońce znów wraca ku północy, dla tego równoleżnik ten stanowi *zwrotnik Koziorożca.* Wraz z podnoszeniem się słońca ku północy płaszczyzna DD' przechyla się ku BB', dnie powiększają się na półkuli północnej, zmniejszają się na półkuli południowej. Najkrótszy dzień trwa w każdem miejscu również długo, jak i najkrótsza noc w lecie, w Warszawie zatem 7 godzin 30 minut. Dnia tego w Warszawie słońce wznosi się nad poziom (fig. 36) o kąt $SOH = rOH - rOS$. Kąt zaś $rOH = ZOH - ZOr = 90 - 52 = 38^0$, skąd $SOH = 38 - 23^1/_2 = 14^1/_2{}^0$. Pierwszego więc dnia zimy, w południe, słońce wznosi się nad poziom Warszawy zaledwie na $14^1/_2{}^0$, a promienie jego przybywają w kierunku



(Fig. 36).

wskazanym na fig. 37. Porównanie figur 34, 35 i 37 wskazuje, jak znaczna różnica zachodzi w kierunku promieni sło-

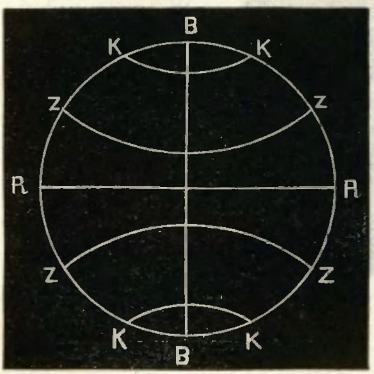


(Fig. 37).

necznych w różnych epokach roku. a okoliczność ta, wespół ze znaczną niejednostajnością długości dnia, tłomaczy dostatecznie zmienność pór roku.

30) Podział ziemi na strefy. Klimat astronomiczny i meteorologiczny.

W rozmaitości objawów, jakie wywołuje na ziemi roczny bieg słońca, wybitne znaczenie zpomiędzy wszystkich równoleżników posiadają zwrotniki i koła biegunowe, pasy bowiem ziemi odgraniczone przez te koła przedstawiają znaczną odrębność astronomiczną i klimatyczną, co usprawiedliwia przyjmowany powszechnie podział ziemi na strefy. Pas ziemi zawarty między obu zwrotnikami *ZZ* i *ZZ* (fig. 38) nazywa się strefą gorącą albo międzyzwrotnikową; między zwrotnikami a kołami biegunowemi przypadają strefy umiarkowane, pozostałe wreszcie części powierzchni ziemi, po za kołami biegunowemi, stanowią strefy zimne albo



(Fig. 38).

podbiegunowe. Rozległość tych stref nie jest jednaka; jeżeli mianowicie powierzchnię strefy gorącej przyjmiemy za 1, to powierzchnia każdej ze stref umiarkowanych wyrazi się przez 0,65, a każdej ze stref biegunowych przez 0,1.

Strefa gorąca cechuje się tem, że każdy jej punkt dwa razy do roku ma słońce w swoim zenicie, punkty wszakże na samych zwrotnikach położone raz tylko jeden. Mieszkańcy równika mają słońce w swoim zenicie w epoce porównania wiosennego i jesiennego, zatem w odstępach półrocznych; w miejscach innych dwa kolejne przejścia następują tem bliżej jedno po drugiem, im miejsce to dalej jest od równika, słońce bowiem znajduje się w zenicie w drodze do zwrotnika i w powrocie od niego. Na równiku dzień stale jest równy nocy ale i w innych punktach tej strefy różnica między długością dnia i nocy nigdy nie jest znaczna, na samych bowiem zwrotnikach najdłuższy dzień trwa tylko 13 godzin 28 minut.

Słońce przy najniższym nawet swym stanie pozostaje jeszcze wysoko nad poziom wzniesione, na równiku na $66^1/_2$ na zwrotnikach na 43^0, a stąd promienie jego działają silnie i utrzymują temperaturę wysoką. Wraz z biegiem słońca posuwa się pas, który doznaje najsilniejszego ogrzewania, zmiany wszakże temperatury w ciągu roku nie są znaczne, a stąd rozmaitość pór roku zgoła tam nie występuje.

Ponieważ słońce przesuwa się między zwrotnikami, przeto mieszkańcy pasa międzyzwrotnikowego mają słońce bądź po południowej, bądź po północnej swej stronie, cień ich zatem w ciągu roku pada już to na północ, już to na południe, skąd poszła niegdyś używana nazwa *dwuciennych*; w chwili jednak, gdy słońce właśnie w ich zenicie przypada, cienia zgoła nie rzucają, a wtedy są *bezcienni.*

W **strefach umiarkowanych** słońce już nigdy do zenitu nie dochodzi, podział roku na pory tu jest najwybitniejszy, a rozmaitość pór roku i różnica między długością dnia i nocy występuje tem silniej, im bardziej zbliżamy się do koła biegunowego północnego, gdzie najdłuższy dzień, w epoce przesile-

nia letniego, trwa całą dobę; mieszkańcy tego koła mają wtedy słońce o północy w swoim poziomie. Jakkolwiek na dalekiej północy słońce nawet w lecie wysoko się nad poziom nie wznosi, długość dnia wynagradza słabszą działalność promieni, a stąd lata bywają tam jeszcze skwarne przy bardzo mroźnych zimach, gdy w okolicach bardziej południowych mniejsza zmiana wysokości słońca w ciągu roku, oraz słabsza zmienność w długości dnia, większą jednostajność temperatury rocznej powodują. Mieszkańcy strefy umiarkowanej północnej mają słońce zawsze po swej stronie południowej, strefy zaś umiarkowanej południowej zawsze po swej stronie północnej; pierwsi więc cień rzucają na północ, drudzy na południe, są tedy *jednocienni.*

Strefy zimne cechują się tem, że najdłuższy dzień, podobnie jak najdłuższa noc, trwa przeszło dobę; pod 70° szerokości już dwa, pod 80° przeszło cztery, na samym biegunie sześć miesięcy. Na samym przeto biegunie północnym dzień trwa od porównania wiosennego do porównania jesiennego, przez półrocze drugie zalega noc; na biegunie południowym w półroczu pierwszem panuje noc, w drugiem dzień.

W dniu porównania widzą słońce na swoim poziomie mieszkańcy obu biegunów, dla jednego z nich jednak słońce wschodzi, dla drugiego zachodzi, dla pierwszego rozpoczyna się dzień półroczny, dla drugiego noc również długa. Dla pierwszego słońce wzbija się codziennie wyżej nad poziom, obiegając zarazem, z powodu obrotu dziennego, koło na niebie, przesuwa się zatem w górę, jakby po linii szrubowej, dosięgając po upływie trzech miesięcy wysokości $23^1/_2{}^0$, poczem tąż samą drogą zniża się ku poziomowi. Dla mieszkańca przeto bieguna dzień równoznaczny jest z latem, a noc z zimą.

W innych miejscach strefy podbiegunowej warunki, lubo nie zupełnie takież jak na biegunie, są jednak zbliżone, Tam również napotykamy tylko dwie pory, długi dzień czyli lato i długą noc czyli zimę, oddzieloną mniejszą lub większą ilością dni zwykłych, a to zależnie od odległości od bieguna.

Długie noce tej strefy rozjaśnia zorza biegunowa, niedostatecznie dotąd zbadane zjawisko elektryczne. Jakkolwiek zaś promienie zawsze ukośnie padają, bezustanny wszakże, kilkomiesięczny dzień powoduje pewne rozgrzanie ziemi.

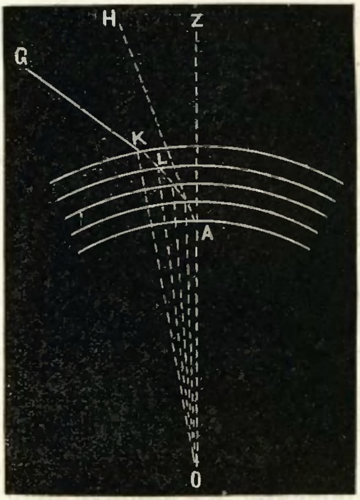
Opis powyższy daje nam obraz ogółowy warunków klimatycznych różnych okolic ziemi. Gdyby ziemia stanowiła bryłę o powierzchni gładkiej, lub też kulę pokrytą morzem, wszędzie jednostajnej głębokości, klimat danego miejsca zależałby tylko od odległości danego miejsca od równika, czyli od jego szerokości geograficznej. Warunki te, zawisłe jedynie od promieniowania słonecznego, stanowią *klimat astronomiczny*, *matematyczny* albo *słoneczny*; skutkiem wszakże niejednostajnego rozkładu lądów i mórz, rozmaitego wyniesienia lądów ukształtowania gór i wyżyn, *klimat rzeczywisty* czyli *fizyczny* odstępuje często znacznie od klimatu astronomicznego. Rozbiór atoli tych warunków wchodzi w zakres meteorologii i klimatologii.

31) Wpływ atmosfery ziemskiej na długość dnia. Świt i zmierzch.

Szczególnie ważny wpływ na objawy meteorologiczne ziemi wywiera atmosfera, tu wszakże wziąć nam należy pod uwagę jedynie powodowane przez nią przedłużenie dnia, które jest następstwem refrakcyi astronomicznej.

Fizyka uczy, że promienie światła, przechodząc z jednego środka (z jednej substancyi) do innego, zbaczają od pierwotnego swego kierunku, czyli ulegają załamaniu. Gdy więc promień, przybywając od którejkolwiek gwiazdy do ziemi, wkracza w atmosferę, przechodzi z próżni do powietrza i zmienia dotychczasowy kierunek swego biegu. Atmosfera nadto posiada gęstość niejednakową, jest coraz gęstszą w miarę, jak zbliżamy się do powierzchni ziemi; podobna zatem zmiana kierunku dokonywać się musi ustawicznie w ciągu całego prze-

biegu promienia przez atmosferę. Wyobrazić więc sobie można atmosferę, jako złożoną z warstw kulistych, otaczających ziemię (fig. 39); promień *G K*, przybywający od gwiazdy *G*, dostaje się do atmosfery w punkcie *K* i tu ulega załamaniu.



(Fig. 39).

Jeżeli promień przechodzi ze środka rzadszego do gęstszego, przy załamaniu zbliża się do prostopadłej padania, t. j. do prostopadłej, poprowadzonej w punkcie padania do powierzchni łamiącej; ponieważ zaś powierzchnią łamiącą jest tu powierzchnia kulista, prostopadłą więc padania jest promień kuli *OK*. W wierzchniej przeto warstwie atmosfery promień światła *G K* zbliża się do tej prostopadłej i przebiega w kierunku *KL* aż do granicy następnej i gęstszej warstwy, gdzie znów załamuje się w podobny sposób, a toż samo powtarza się aż do ostatniej warstwy, przylegającej do powierzchni ziemi. Na figurze promień światła przebiega linię łamaną, w rzeczywistości wszakże zmiana gęstości powietrza zachodzi ustawicznie w sposób ciągły; warstwy zatem atmosfery przyjmować tu należy jako niewypowiedzianie cienkie, a w takim razie giną przeskoki linii łamanej, która zamienia się w linię krzywą. Promień więc światła, przybywający od gwiazdy, przebiega atmosferę po drodze krzywej do obserwatora znajdującego się w punkcie A. Ponieważ zaś wrażenie światła odsyłamy w kierunku, w jakim otrzymujemy ostateczne wrażenie, obserwator więc widzieć będzie gwiazdę, rzeczywiście będącą w *G*, w punkcie *H*, zatem w punkbie bliższym zenitu, czyli wyżej nad poziom wzniesioną.

W skutek zatem refrakcyi każdą gwiazdę dostrzegamy na niebie wyżej, to jest więcej nad poziom wyniesioną, aniżeli się rzeczywiście znajduje. Promień tylko padający prostopadle przechodzi bez załamania, dlatego gwiazdę będącą w zenicie widzimy w położeniu niezmienionem. Dla gwiazd przypadających w sąsiedztwie zenitu refrakcya jest nieznaczna, wynosi kilka sekund zaledwie; lecz wzrasta szybko w miarę, jak się zbliżamy do poziomu. Gdy gwiazda jest oddaloną od poziomu o 30°, widzimy ją wyniesioną nad istotne jej położenie blizko o dwie minuty, a gdy od poziomu oddaloną jest tylko o 10°, refrakcya podnosi ją o 5′ przeszło. W pobliżu poziomu wpływ refrakcyi staje się bardzo silnym, a gwiazda na samym poziomie będąca wysuwa się nadeń na pół stopnia przeszło, t. j. na wielkość wyrównywającą mniej więcej tarczy księżyca lub słońca. Astronom przeto, oznaczając położenie gwiazdy, winien do dostrzeżeń swych wprowadzić poprawkę, która wpływ refrakcyi usuwa. Jeżeli mianowicie ocenia odległość wierzchołkową gwiazdy, to jest kąt, na jaki oddaloną jest od zenitu, powiększyć winien nieco kąt, jaki mu dają obserwacye bezpośrednie. Wielkość zresztą refrakcyi zależy i od każdochwilowych warunków meteorologicznych atmosfery, a przedewszystkiem od jej ciśnienia i temperatury; wpływy te znów działają najsilniej w pobliżu poziomu, dlatego też astronomowie starają się unikać obserwacyi gwiazd, gdy blizko poziomu przypadają.

Cośmy o refrakcyi mówili, tyczy się oczywiście i słońca; w ciągu dnia, gdy słońce wysoko już jest na niebie, wpływ refrakcyi na wyniesienie jego jest niewielki, ale jest dosyć znaczny przy wschodzie i zachodzie, gdy zatem słońce tuż nad poziomem przypada. Wskutek silnego załamywania się promieni słońca w pobliżu poziomu dostrzegamy nawet już słońce, choć rzeczywiście nie weszło jeszcze nad poziom, i widzimy je jeszcze, choć już pod poziom się zanurzyło. Powoduje to pewne powiększenie długości dnia, które zresztą w różnych okolicach ziemi jest niejednakie i zależy od szerokości geograficznej danego miejsca, co zrozumiemy, skoro przypomnimy

sobie, że dzienna droga słońca niejednakowo w różnych stronach jest względem poziomu pochylona. Dla mieszkańca równika słońce przebiega na niebie drogę do poziomu prostopadłą i po zachodzie szybko obniża się pod poziom, tak, że widzialne jest tylko przez dwie jeszcze minuty po zachodzie; tak samo ukazuje się na dwie minuty przed istotnym swym wschodem, dzień więc na równiku wskutek refrakcyi wydłuża się o cztery minuty. Im bardziej oddalamy się od równika, tem ukośniejszą staje się droga słońca, tem dłuższego też potrzebuje czasu do takiego obniżenia się pod poziom, aby przestało być widzialnem; w szerokościach naszych dostrzegamy gwiazdę dzienną na cztery minuty przed istotnym czyli astronomicznym jej wschodem, i widzimy ją również cztery minuty po tym jej zachodzie; dzień więc istotny czyli fizyczny jest u nas o ośm minut dłuższy od dnia astronomicznego. Najznaczniejsze wszakże przedłużenie dnia wskutek refrakcyi ma miejsce na biegunie, tam bowiem słońce opisuje dzienne swe drogi po liniach do poziomu równoległych, zwolna się tylko pod ten poziom zagłębiając i nadeń wynurzając, a stąd długi, półroczny dzień biegunowy przedłuża się jeszcze o siedmdziesiąt godzin.

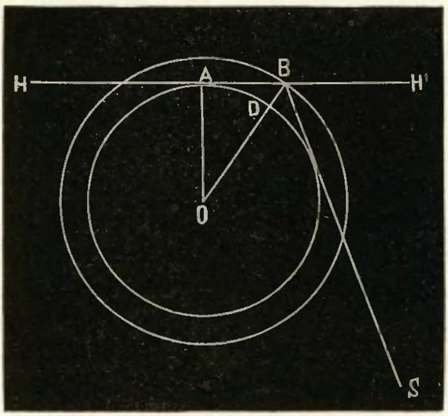
Refrakcya astronomiczna tłomaczy nam też, dla czego słońce i księżyc przy wschodzie i zachodzie przyjmują postać spłaszczoną, co można dostrzegać nawet okiem nieuzbrojonem. Pochodzi to stąd, że tuż przy poziomie refrakcya jest silniejsza, aniżeli nieco wyżej, dla tego dolny brzeg słońca lub księżyca podnosi się nieco wyżej, aniżeli górny, a stąd kołowa ich postać przechodzi w eliptyczną. Poznamy dalej, że w czasie pełni, księżyc przypada względem słońca po przeciwległej stronie ziemi, winien zatem wschodzić w tejże samej chwili, gdy słońce zachodzi; widzimy wszakże wtedy oba te ciała nad poziomem, słońce na stronie zachodniej nieba, a księżyc na wschodniej, co jest następstwem refrakcyi. Zjawisko to staje się dobitniejszem, gdy wschodzący nad poziom księżyc jest zaćmiony, według bowiem teoryi zaćmień, zaćmiony księżyc nigdy wraz ze słońcem nad poziomem widzianym być nie może.

Zjawisko to zwróciło uwagę filozofa greckiego Kleomedesa, żyjącego w początku ery chrześcijańskiej i stąd właśnie, pierwszy wywnioskował, że promienie światła w atmosferze ulegają załamaniu. Wpływ wszakże refrakcyi uwzględnił przy dostrzeżeniach dopiero Tycho de Brahe, a Laplace i Bessel rozwiązali trudne to zadanie tak dokładnie, że poprawki od refrakcyi zależące obliczać można ze wszelką, pożądaną ścisłością.

Wpływ atmosfery ziemskiej ujawnia się w innem jeszcze pokrewnem zjawisku, ona to bowiem powoduje zorzę ranną i wieczorną, czyli świt albo jutrzenkę i zmierzch albo zmrok. Gdyby ziemia atmosfery nie posiadała, natychmiast po zachodzie słońca następowałaby ciemność zupełna, skoroby bowiem słońce obniżyło się pod poziom, żaden już jego promień do nas nie zdołałby zabłądzić; po jasnym dniu natychmiast i nagle zapadałaby noc czarna. Górne wszakże warstwy powietrza odbijają czyli raczej rozpraszają promienie słońca ukrytego pod poziomem i rozjaśniają widnokrąg, chociaż samo słońce już jest dla nas niewidzialne. Tak samo zresztą działa atmosfera i za dnia; rozpraszając bowiem i rozrzucając na wszystkie strony promienie słoneczne, oblewa się ona blaskiem jednostajnym, który sprawia złudzenie sklepienia niebieskiego. Atmosfera, rozproszonemi promieniami słońca rozjaśniona, przytłumia też blask gwiazd, które w braku powietrza byłyby widzialne i za dnia, nawet w pobliżu słońca. W miarę, jak słońce coraz niżej pod poziom schodzi, coraz mniejsza ilość promieni jego dobiega do atmosfery, jasność jej przytłumia się zwolna, a widnokrąg stopniowo w ciemność się nocną pogrąża. Kres zmroku następuje, gdy już dostrzegać możemy okiem nieuzbrojonem gwiazdy bardzo słabe, co ma miejsce, jak to poznali dawni już obserwatorowie, gdy słońce dochodzi obniżenia mniej więcej 18^0 pod poziom.

W różnych wszakże okolicach ziemi, jakeśmy to widzieli przy rozważaniu objawów refrakcyi, słońce dla przebieżenia tych 18^0 potrzebuje niejednakiego czasu; zorza zatem ranna i wieczorna trwa najkrócej na równiku, najdłużej w stronach

podbiegunowych. Na samym równiku czas jej trwania wynosi niewiele więcej nad godzinę, na biegunach blizko 50 dni. W jednej zresztą i tej samej miejscowości długość zorzy zmienia się nieco wraz z porą roku, łuki bowiem, jakie słońce na niebie przebiegać musi, aby o 18^0 pod poziom zeszło, w ciągu roku nie są jednakowe. Ponieważ zorza gaśnie dopiero, gdy słońce schodzi pod poziom o 18^0, u nas zaś w epoce przesilenia słońce pod poziom zagłębia się zaledwie na $14^1/_2{}^0$ niespełna, zanim przeto ostatecznie przytłumi się zmierzch, rozpoczyna się już świt, zorza wieczorna łączy się z ranną; w tej zatem porze roku istotnej nocy nie posiadamy, promienie słoneczne nie przestają nas oświetlać. W ogóle jasne takie noce trwają u nas przez ciąg czerwca i lipca, a na dalekiej północy blask ten nocny staje się nawet dla człowieka uciążliwym. Oczywiście, gdyby atmosfera wyżej nad ziemię sięgała, zorza trwałaby dłużej. Na tej zasadzie sławny optyk arabski Alhazen, a właściwie Abu Ali al Hazan ibn al Haitam al Basi, zmarły w r. 1038 w Kairze, powziął genialną prawdziwie na owe czasy myśl, że kres zmierzchu posłużyć może do oznaczenia wysokości atmosfery. Objaśnia to fig. 40, na której okrąg wewnętrzny przedstawia powierzchnię ziemi, zewnętrzny zaś najwyższą warstwę atmosfery, od której jeszcze się promienie światła odbijają. W punkcie *A* znajduje się obserwator, do którego przybywa właśnie w kierunku poziomu *HH'* promień światła *BA*, odbity przez skrajną warstwę atmosfery. Słońce



(Fig. 40).

w tej chwili obniżone jest pod poziom o kąt $H'BS$; za chwilkę zejdzie niżej, a wtedy promień odbity już się do obserwatora A nie dostanie; promień zatem BA, ślizgający się po poziomie, jest to już ostatni, dobiegający go od atmosfery promień światła, a wraz z nim gaśnie zorza wieczorna. Kres zorzy, jak powiedzieliśmy, następuje w chwili, gdy słońce obniżone jest pod poziom o 18^0. (Na fig. 40 kąt $H'BS$ jest znacznie większy, dla uwidocznienia bowiem trzeba było nadać atmosferze grubość przechodzącą o wiele rzeczywiste jej wymiary). Skoro więc kąt $H'BS = 18^0$, kąt przeto $SBA = 162^0$, a że dla równości kątów padania i odbicia światła, jest kąt $SBO = OBA$, zatem kąt $OBA = 81^0$. W trójkącie tedy prostokątnym BAO znamy bok OA jako promień ziemi, oraz obliczony w powyższy sposób kąt OBA, a z tych danych otrzymujemy długość boku OB, skąd, po strąceniu promienia ziemskiego OD, wypada szukana wysokość atmosfery DB.

Tą drogą obliczył Alhazen, że wysokość atmosfery wynosi 52 000 kroków. Vitellion albo raczej Witelo, przez Wiszniewskiego Ciołkiem niewłaściwie nazwany, opisał szczegółowo tę metodę, a następnie i Kepler przyjął z pewnemi zastrzeżeniami metodę optyka arabskiego. W późniejszych czasach astronomowie niejednokrotnie obliczenia te podejmowali, z różnych tych wszakże rachunków ocena wysokości atmosfery niejednakowo wypadała; de la Hire podaje ją na 37 223 sążni paryskich, Mariotte na 15 do 20 dawnych mil francuskich, Według E. E. Schmida, który uwzględnił i załamanie promieni, przedzierających się przez różne warstwy atmosfery, kres zorzy następuje już przy obniżeniu się słońca pod poziom o 16^0, z czego wypływa wysokość atmosfery 8,6 mili geograficznej; najnowsze jednak obliczenia Jessego wykazują wysokość jeszcze znacznie mniejszą, bo tylko 17 kilometrów.

Metoda ta zatem, jakkolwiek na ścisłych opiera się podstawach, jak widzimy, nie prowadzi do ścisłych rezultatów, co głównie stąd pochodzi, że zjawisko zmierzchu przebiega w sposób dosyć zawiły i ostateczną jego chwilę trudno uchwy-

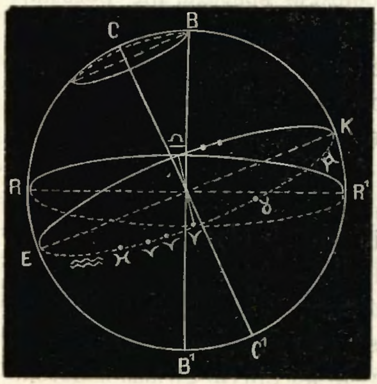
cić. Zresztą, nie może ona oczywiście prowadzić do oznaczenia rzeczywistych granic atmosfery, lecz ma na celu jedynie uchwycenie tych warstw powietrza, które są jeszcze dosyć gęste, by światło w sposób wyraźny odbijać mogły. Od tych wszakże warstw do skrajnych granic atmosfery niezmiernie jeszcze daleko, jak to wnieść można z innych zjawisk, o których następnie będzie mowa.

32) Poprzedzanie punktów równonocnych.

Obieg roczny słońca około ziemi wiąże się ze zjawiskiem, zwanem *precesyą* czyli *poprzedzaniem punktów równonocnych*, a odkrytem przez najznakomitszego astronoma starożytności Hipparcha, żyjącego w drugiem stuleciu przed Chr. Porównywając mianowicie własne swe dostrzeżenia z obserwacyami swych poprzedników, dostrzegł, że odległości gwiazd od punktu równonocnego wiosennego ulegają pewnej zmianie; jeżeli mianowicie są to gwiazdy przypadające na wschód względem punktu wiosennego, to odległości te wciąż wzrastają, jeżeli zaś gwiazdy położone są względem niego na zachód, odległości te również statecznie maleją. Wniósł więc stąd bardzo słusznie, że to punkt równonocny wiosenny posuwa się zwolna ku zachodowi, skąd wypływa dalej, że i punkt równonocny jesienny takiemuż ruchowi ulega, czyli że oba punkty równonocne nie zajmują na ekliptyce położenia niezmiennego, lecz się po niej wciąż przesuwają od wschodu ku zachodowi, zatem w kierunku przeciwnym względem biegu słońca, czyli według wyrażenia astronomów mają ruch wsteczny. Ruch ten jest wprawdzie bardzo powolny, przez rok bowiem każdy punkt równonocny przesuwa się o łuk, wynoszący niespełna jednę minutę, zaledwie 50,2″, z biegiem jednak czasu, po upływie stuleci, przesunięcie staje się wyraźnem; skoro zatem Hipparch zdołał je wykryć już przed dwoma tysiącami lat, wnieść stąd można, jak znacznie w owym czasie posuniętą już była znajo-

jomość ruchów niebieskich i jak gorliwie zajmowano się obserwacyami astronomicznemi w czasach bardzo odległych.

Bezpośredniem następstwem ruchu punktów równonocnych jest przesuwanie się znaków zwierzyńcowych. Skoro punkt równonocny wiosenny ♈ (fig. 41) zajmuje kolejno położenie ♈′ ♈″, opuszcza przeto gwiazdozbiór Barana, gdzie niegdyś przypadał i przechodzi z biegiem czasu do gwiazdozbioru Ryb ♓, a następnie do Wodnika ♒, gdy znów z drugiej strony znak ♉, który się niegdyś znajdował w gwiazdozbiorze Byka, przechodzi do Barana, a dalej do Ryb. Stopniowo zatem punkt równonocny wiosenny i każdy inny znak zwierzyńcowy obiega cały okrąg na niebie. Ponieważ okrąg zawiera 360^0 czyli $360 \times 60 \times 60 = 1.296.000$ sekund, a punkt równonocny przesuwa się rocznie o $50''$, cały przeto okrąg ekliptyki przebiega on w ciągu 1.296.000 : 50, t. j. około 26.000 lat, a na przejście od jednego gwiazdozbioru zwierzyńcowego do następnego potrzebuje 2.000 lat. Przed dwoma tysiącami lat, gdy się ustalał kalendarz dzisiejszy (§ 37) słońce w epoce porównania wiosennego przypadało w gwiazdozbiorze Barana, obecnie zatem w początkach wiosny znajduje się rzeczywiście w gwiazdozbiorze Ryb, a po upływie dalszych dwu tysięcy lat wiosna rozpoczynać się będzie, gdy słońce wschodzić będzie wraz z gwiazdozbiorem Wodnika. Aby więc uniknąć niepotrzebnego zamieszania, wyróżniono znaki od gwiazdozbiorów; według tego mówimy, że początek wiosny ma miejsce wraz z wstąpieniem słońca do znaku Barana, znak ten wszakże nie przypada już, jak niegdyś, w gwiazdozbiorze Barana, lecz mieści się w gwiazdozbiorze Ryb, gdy znak Ryb



(Fig. 41).

znajduje się w gwiazdozbiorze Wodnika. Do obecnych zatem czasów każdy znak zwierzyńcowy przesunął się o jeden gwiazdozbiór, jak to widzieliśmy zresztą już wyżej (§ 28).

Skoro zaś oba punkty równonocne przesuwają się po ekliptyce, zmieniać musi swe położenie linia równonocna, ♈ ♎ (fig. 41), oba te punkty łącząca; a że jest to linia, według której płaszczyzna równika przecina się z płaszczyzną ekliptyki, wypływa więc stąd dalej, że sam równik toczy się zwolna po ekliptyce, zachowując wszakże względem niej jednakie wciąż pochylenie. Ponieważ zaś oś świata *BB'* pozostawać wciąż musi do równika prostopadłą, przeto i oś ta wraz z nim się obraca, opisując ostrokrąg czyli stożek dokoła linii *CC'*, która jest linią do ekliptyki prostopadłą czyli jej osią; obraz takiego ruchu daje nam widok bąka, wiercącego się po podłodze w położeniu pochylonem: gdy bąk obiega pokój dokoła, oś jego wykonywa ruch stożkowy, pozostając na podłodze jednako pochyloną. Dla takiego ruchu osi świata i biegun też niebieski, to jest punkt, w którym oś ta sklepienie niebieskie spotyka, nie pozostaje niezmiennym, lecz obiega na niebie ruchem wstecznym w ciągu lat 26.000 kółko, którego środek przypada w punkcie *C*, to jest w biegunie ekliptyki odległym od niego blisko na $23^1/_2{}^0$ (str.102) Nie zawsze tedy oś świata zwracała się, jak obecnie, ku ostatniej gwieździe w ogonie Małej Niedźwiedzicy i nie zawsze ku niej zwracać się będzie, czyli, innemi słowy, gwiazda ta nie zawsze była i nie zawsze będzie gwiazdą biegunową. Obecnie jest biegun świata odległy od niej o $1^1/_2{}^0$ prawie i będzie się ku niej zbliżał jeszcze przez lat 250, a wtedy oddalony od niej będzie o pół stopnia tylko. Następnie jednak będzie się od niej coraz więcej usuwać, zbliżając się ku innym gwiazdozbiorom; za lat 8000 gwiazdą biegunową będzie α Łabędzia, za lat 12000 świetna Wega czyli α Liry. W ogólności, jeżeli na karcie nieba wyszukamy biegun ekliptyki, który przypada w gwiazdozbiorze Smoka, i zakreślimy dokoła niego okrąg o promieniu wyrównywającym $23^1/_2{}^0$, to wszystkie gwiazdy, w sąsiedztwie

tego okręgu rozłożone, w kolei wieków przyjmują charakter gwiazdy biegunowej.

Dalszem następstwem ruchu bieguna jest stopniowa zmiana widoku nieba gwiazdzistego w jednej i tej samej okolicy ziemi. Gwiazdy, które obecnie nie zanurzają się nigdy pod poziom, będą w przyszłości zachodzić, gdy znów inne staną się gwiazdami kołobiegunowemi; gwiazdy, które obecnie nigdy się nad poziom nasz nie wysuwają, jak Krzyż południowy, Centaur, Tukan, będą w szerokościach naszych widzialne, a natomiast wspaniały gwiazdozbiór Oriona, Pies Wielki z Syryuszem, Pies mały z Procyonem nie będą już naszego nieba zimowego ozdabiać.

Ale nietylko na zjawiska tak dalekiej przyszłości ruch punktów równonocnych wpływ swój wywiera, corocznie bowiem powoduje przyspieszenie chwili równonocy czyli porównania wiosennego. Jeżeli pewnego roku słońce, znajdując się w punkcie równonocnym wiosennym ♈ (fig. 41), przypadało na niebie wraz z pewną gwiazdą, to, gdy po rocznym swym obiegu od zachodu na wschód, przez gwiazdozbiory zwierzyńca, znów do punktu równonocnego wraca, napotyka go w punkcie bliższym ♈′, zanim jeszcze dojdzie do gwiazdy, z którą przed rokiem razem w chwili równonocy na niebie bawiło. Punkt więc równonocny posuwa się, jakby naprzeciw słońca, w ciągu roku o drobną drogę 50,2″, co właśnie tłomaczy nazwę tego zjawiska, precesyi czyli poprzedzania punktów równonocnych. Czas, jakiego potrzebuje słońce do obieżenia drogi swej dokoła ziemi, stanowi rok; należy więc rozróżnić rok dwojaki. Możemy mianowicie przez rok rozumieć przeciąg czasu, po którym słońce wraca do tejże samej gwiazdy, z którą razem na niebie przypadało, albo też przeciąg czasu, po którym słońce wraca do punktu równonocnego. Rok pierwszy nazywa się *gwiazdowym* (*syderalnym*), drugi *równonocnym* czyli *zwrotnikowym* (*tropikalnym*). Rok zwrotnikowy jest oczywiście krótszy od roku gwiazdowego, a to o przeciąg czasu, jakiego potrzebuje słońce do przebieżenia drobnego łuku 50″, co wynosi

około 20 minut; w ciągu jednego roku jest to różnica niewielka, gromadzi się wszakże z biegiem czasu, a po upływie jednego tysiącolecia czyni już około 14 dni. Długość roku gwiazdowego wynosi 365 dni 6 godzin, 9 minut, 9 sekund; zwrotnikowego zaś 365 dni, 5 godzin, 48 minut, 46 sekund.

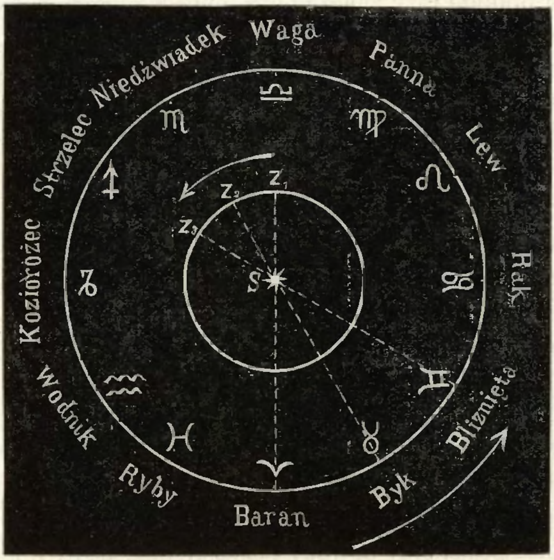
Ponieważ następstwo pór roku zależy od położenia słońca względem równika, a zatem od powrotu jego do punktu równonocnego, podstawą zatem rachuby czasu w życiu zwyczajnem być musi rok zwrotnikowy, a nie gwiazdowy. Rok zwrotnikowy trwa, jak widzimy, niespełna $365^1/_4$ dnia; pogodzenie tego przeciągu czasu z wymaganiami życia praktycznego stanowi zadanie *kalendarza*, czem zajmiemy się w rozdziale następnym.

33) Obieg ziemi dokoła słońca.

Poznawszy w ten sposób objawy, od obiegu słońca dokoła ziemi zawisłe, napotykamy, podobnie jak przy rozpatrywaniu dziennego obrotu sklepienia niebieskiego, uzasadnioną wątpliwość, czy ruch ten roczny słońca jest rzeczywistym, czy też jest złudzeniem tylko, polegającem na istotnym ruchu ziemi naszej, chociaż go nie czujemy, tak samo jak nie czujemy i obrotu jej osiowego. Rozpatrzmy więc najpierw, czy w ogólności złudzenie takie jest możliwem.

Bieg słońca dokoła ziemi uwidocznił nam się stąd, że w ciągu roku przesuwa się ono między gwiazdozbiorami. Dajmy więc teraz, że słońce S jest nieruchome, a ziemia bieży dokoła niego, opisując w ciągu roku drogę kołową Z_1 Z_2 Z_3 (fig. 42). Okrąg zewnętrzny przedstawia pozorne sklepienie niebieskie, albo raczej pas jego zwierzyńcowy Barana, Bliźniąt i t. d. Gdy ziemia na swej drodze znajduje się w punkcie Z_1, spoglądając na słońce, widzimy je w kierunku Z_1 S, a że o istotnej odległości jego wyobrażenia zgoła nie mamy, przenosimy je na pozorne sklepienie nieba i dostrzegamy je

w gwiazdozbiorze Barana; w ciągu miesiąca ziemia przebiega dwunastą część swej drogi, znajduje się zatem po upływie miesiąca w miejscu Z_2, a spoglądając stąd na słońce, dostrzegamy je w kierunku $Z_2 S$, zatem w gwiazdozbiorze Byka i mówimy, że słońce jest w gwiazdozbiorze Byka. Ponieważ zaś o ruchu swoim czyli o ruchu ziemi nie wiemy i sądzimy, że ona stale na jednem miejscu pozostaje, wydawać się nam przeto będzie,



(Fig. 42).

że to słońce przesunęło się na niebie z gwiazdozbioru Barana do Byka. Po upływie następnego miesiąca, gdy ziemia znajdzie się w punkcie Z_3, sądzić znów będziemy, że to słońce przeszło do gwiazdozbioru Bliźniąt. Tak samo dzieje się i dalej, a gdy ziemia, po ukończeniu pełnego obiegu, wraca do pierwotnego swego położenia Z_1, ulegamy złudzeniu, że to słońce przebiegło wszystkie gwiazdozbiory zwierzyńca i wróciło do Barana. Proste zatem zastanowienie uczy jasno, że pozorne objawy ruchu rocznego słońca pozostają jednakie, czy to słońce

posuwa się między gwiazdozbiorami od zachodu przez południe na wschód, czy też ziemia bieży dokoła słońca w *tymże samym kierunku,* co wyraźnie zaznaczają strzałki na rysunku, i z tąż samą prędkością kątową, kąt bowiem $Z_1SZ_2 = \Upsilon S \text{♉}$.

Nie trudno zaś przyjdzie nam teraz rozstrzygnąć, którą z dwu tych hypotez za prawdopodobniejszą uważać należy. Przedewszystkiem bowiem, jak to poznamy następnie, słońce jest bryłą przeszło $1^1/_4$ miliona razy większą, posiada masę przeszło 300000 razy znaczniejszą, aniżeli ziemia; wobec tych stosunków rzeczą jest naturalniejszą i prostszą przypisać ruch ziemi, aniżeli pojąć, że bryła tak potężna obiegać musi drogę w zależności od drobnej ziemi. Poznamy dalej inne bryły w podobnej jak i ziemia zależności ze słońcem zostające, a które dokoła niego krążą: sama analogia skłania do przyjęcia obiegu rocznego ziemi. Najważniejszy wszakże argument, za poglądem tym przemawiający, stanowi cały rozwój astronomii, na zasadzie obiegu ziemi dokoła słońca oparty; w przypuszczeniu nieruchomości ziemi budowa świata całego wydaje się zawiłą i niejasną, upraszcza się i rozświetla wraz z uruchomieniem ziemi, a z tego już względu, jak poznamy, domysł obiegu ziemi zyskuje największą pewność, jaką w badaniu przyrody osiągnąć możemy. Obecnie zresztą ruch roczny ziemi nie jest tylko hypotezą dobrze uzasadnioną, ale stanowi fakt istotnie dowiedziony, jak bowiem obrotu osiowego ziemi tak i obiegu jej dokoła słońca posiadamy dowody bezpośrednie, jakby dotykalne; dowody te są: aberacya gwiazd i paralaksa roczna, poznamy je wszakże dopiero przy nauce o gwiazdach stałych.

Astronomowie starożytni, ulegając bezpośredniemu wrażeniu zmysłów, uznawali bezwzględną nieruchomość ziemi, przyjmując zarówno dzienny dokoła niej obrót nieba i roczny obieg słońca; nauka ich bez zmiany przetrwała czasy średniowieczne, aż Kopernik dopiero, przyznawszy ziemi ruch wirowy, wykazał, że należy jej przypisać i ruch postępowy dokoła słońca. Jaką zaś drogą pogląd swój uzasadnił, poznamy przy rozważaniu biegu planet.

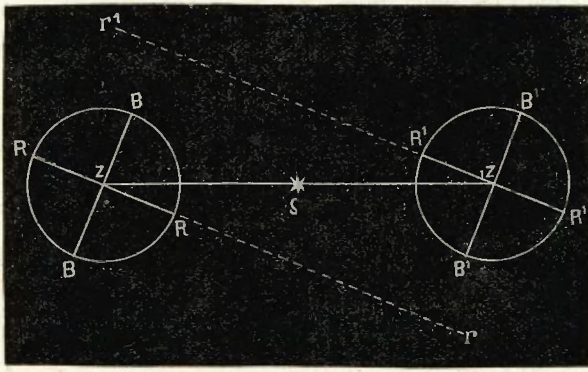
Zastępując ruch pozorny słońca rzeczywistym biegiem ziemi, nadajemy ekliptyce inne znaczenie, pozostaje ona wszelako tąż samą na niebie linią. Dotąd bowiem określaliśmy ekliptykę jako drogę słońca, albo raczej przeniesienie jej czyli rzut na pozorne sklepienie nieba; teraz pojmować ją nam należy jako drogę ziemi, albo dokładniej znowu jako rzut tej drogi na sklepienie nieba. Ponieważ pozorny bieg słońca jest jedynie jakby odzwierciedleniem istotnego biegu ziemi, w jednym przeto i drugim razie jest to na sklepieniu niebieskiem jedna i taż sama linia.

Gdy słońce widzimy w znaku Barana, obserwator umieszczony na słońcu dostrzegałby ziemię w znaku Wagi (fig. 42); skoro słońce przechodzi do znaku Byka, ziemia przesuwa się do Niedźwiadka. Zamiast więc mówić, że słońce przechodzi od Barana do Byka, do Bliźniąt, należałoby zgodniej z rzeczywistością mówić, że to ziemia przesuwa się od Wagi do Niedźwiadka, do Strzelca; zachować wszakże możemy dla dogodności pierwszy sposób wyrażania się, podobnie jak mówimy o wschodzie i zachodzie słońca, chociaż wiemy, że to właściwie nasz poziom pod słońce się pogrąża, lub nad nie wynurza. Fig. 42 uczy nas jeszcze, że ziemia usunięta jest zawsze od słońca o sześć znaków zwierzyńcowych, przypada bowiem w punkcie przeciwległym ekliptyki.

35) Pochylenie osi ziemskiej.

Jedno wszakże jeszcze zasadnicze pytanie domaga się wyjaśnienia. Widzieliśmy mianowicie, że w drodze swej dokoła ziemi słońce przechodzi kolejno z półkuli północnej nieba na południową i z południowej na północną; jeżeli więc bieg ten słońca jest pozorny tylko i ma swe źródło w istotnym ruchu ziemi, jakżeż wyjaśnić można taką pochyłość drogi słońca względem równika niebieskiego? Otóż, aby zrozumieć pozorny ten bieg słońca i wszystkie jego następstwa, a zatem w szcze-

gólności zmianę pór roku i niejednostajną długość dni i nocy, należy tylko wraz z Kopernikiem przyjąć, że oś ziemi nie jest prostopadłą do płaszczyzny jej drogi, czyli do ekliptyki, ale jest względem niej pochyloną, a mianowicie tworzy z nią kąt $66^1/_2{}^0$, który to kąt jest dopełnieniem do kąta prostego znanego nam kąta $23^1/_2{}^0$, t. j. pochylenia ekliptyki względem równika: $90^0 — 23^1/_2 = 66^1/_2{}^0$. Tocząc się zaś po swej drodze, zachowuje ziemia niezmienne względem niej położenie, czyli, mówiąc ściślej, kolejne położenia osi są względem siebie równoległe.



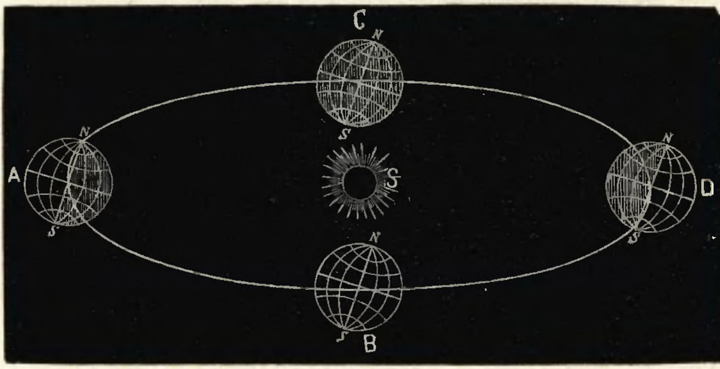
(Fig. 43).

Niech więc linia *ZZ'* (fig. 43) przedstawia nam płaszczyznę ekliptyki, *S*—słońce, okrąg *Z*—ziemię, *BB*—oś, *RR*—równik ziemski, a przedłużenie jego *Rr*—równik niebieski (§ 21); ponieważ, jak powiedzieliśmy, oś ziemi jest względem ekliptyki pochyłona pod kątem $66^1/_2{}^0$, przeto kąt $BZS = 66^1/_2{}^0$, a że kąt $BZR = 90^0$, oś bowiem zawsze do równika jest prostopadłą, przeto kąt $SZr = 23^1/_2{}^0$. W tem przeto położeniu ziemi słońce wzniesione jest na północ względem równika niebieskiego o $23^1/_2{}^0$; jest to zatem stan rzeczy taki, jaki przedstawia fig. 32, słońce zajmuje tu skrajne swe położenie północne i bez dalszych wyjaśnień widzimy, że mamy wtedy chwilę przesilenia letniego. Po upływie półrocza ziemia znajduje się w punkcie

przeciwległym swej drogi, w *Z'*; oś jej zachowuje wszakże położenie równoległe do pierwotnego, ma więc kierunek *B'B'*, równik zaś niebieski oznaczony jest przez linię *R'r'*. W tem więc położeniu ziemi słońce przypada na półkuli południowej nieba i jest od równika usunięte na południe o kąt $r'Z'S'=23^1/_2{}^0$; jest to zatem chwila przesilenia zimowego, wyjaśniona bliżej na fig. 35. Samo zatem pochylenie osi ziemskiej tłomaczy położenie letnie słońca na półkuli północnej i zimowe na półkuli południowej nieba. Przejście to oczywiście nie zachodzi nagle, ale dokonywa się stopniowo; jakkolwiek bowiem oś ziemi wciąż jednakowo pochyloną jest względem płaszczyzny ekliptyki, to wszakże zmienia się statecznie pochylenie jej względem linii, łączącej środek ziemi ze środkiem słońca, które stąd w ciągu roku rozmaicie jest nad równik wzniesione. Dla objaśnienia podajemy tu jeszcze rysunek (fig. 44), pełniejszy od poprzedniego, daje on bowiem położenie ziemi w czterech głównych punktach jej drogi. W punkcie *A* przypada przesilenie letnie, w punkcie *D* zimowe; w pierwszym z nich słońce usunięte jest o $23^1/_2{}^0$ na północ, w drugim o $23^1/_2{}^0$ na południe równika, co wyraźniej wskazuje powyższa fig. 43. W punktach pośrednich *B* i *C* płaszczyzna równika przechodzi przez słońce, które tedy znajduje się na samym równiku niebieskim; są to zatem chwile porównania jesiennego i wiosennego wyjaśnione na fig. 29.

Widzimy więc z tego, że wszystkie, tak napozór zawiłe objawy rocznego biegu słońca znajdują zupełne i proste wyjaśnienie według układu Kopernika, którego znaczenie wszakże następnie dopiero należycie ocenić zdołamy. Bardzo łatwo zresztą uzmysłowić możemy obieg roczny ziemi i pokonać wszelkie trudności, jakie dokładne jego rozumienie napotykać może, jeżeli globus ziemski, stosownie pochylony, oprowadzać będziemy dokoła okrągłego stołu, na którym nizka lampka, w środku umieszczona, wyobrażać będzie słońce. Lepiej uwidoczniają to umyślne przyrządy, telluryami (od *tellus* ziemia) zwane.

Wydawać się wszakże jeszcze może, że pojęcie rocznego obiegu ziemi sprzecznem jest ze statecznością osi świata. Linię tę bowiem zgodziliśmy się uważać (§ 25) za przedłużenie osi ziemskiej, skoro więc ziemia położenie swe zmienia, przeto i oś jej *NS* (fig. 44), a zatem i oś świata w ciągu roku ku różnym gwiazdom zwracać się winna. Wątpliwość ta wszakże ustępuje, skoro pod uwagę weźmiemy niesłychaną odległość gwiazd. Jakkolwiek bowiem olbrzymie są wymiary drogi ziemskiej, jest ona drobiazgiem nieznacznym, punktem zaledwie matematycznym w zestawieniu z oddaleniem gwiazd stałych,



(Fig. 44).

z pozornem sklepieniem niebieskiem. Czy to więc w lecie z miejsca *A*, czy w zimie z miejsca *B* na niebo spoglądamy, gwiazdą biegunową jest zawsze jedna i taż sama gwiazda Niedźwiedzicy małej. Taż sama uwaga usuwa podobną wątpliwość, jaką nastręczyć może fig. 43, na której równik niebieski przedstawiony jest w letniem położeniu ziemi przez linię *Rr*, w zimowem przez linię *R'r'*; przesunięcie to jest również tak nieskończenie drobne, że w każdej porze roku jedna i taż sama linia na sklepieniu niebieskiem oddziela nam półkulę północną i południową; zawsze jeden i tenże sam okrąg stanowi równik niebieski.

Bezwzględną wszakże stateczność ta nie jest, oś bowiem ziemi, jak wnieśliśmy z objawu poprzedzania punktów równonocnych, z biegiem stuleci zwraca się ku różnym gwiazdom sklepienia niebieskiego. Nie pozostaje zatem do pierwotnego swego położenia wciąż równoległą, ale odchyla się corocznie o drobny kąt 50″, a w ciągu 26000 lat opisuje pełny stożek. Ziemia toczy się po swej drodze, jak bąk ku podłodze pochylony, który, zachowując względem niej jednakie nachylenie, wykonywa zarazem i ruch stożkowaty, zwracając oś swoją kolejno ku różnym punktom pułapu. Pojmujemy też z tego, że i poprzedzanie punktów równonocnych, jak inne pozorne ruchy niebieskie, istotne swe źródło ma we własnym ruchu ziemi; zagadkowy ten jej ruch wszakże wyjaśnić będziemy mogli dopiero, gdy poznamy zasadę ciążenia powszechnego.

Jedyną więc przyczyną zmienności pór roku na ziemi jest pochylenie jej osi ku ekliptyce. Gdyby oś ta miała kierunek prostopadły do płaszczyzny drogi, po której się ziemia toczy, mieszkańcy równika mieliby w chwili południa słońce zawsze w swoim zenicie, mieszkańcy bieguna zawsze w swoim poziomie, a dla mieszkańców okolic pośrednich słońce wzbijałoby się tem wyżej nad poziom, im bliżej znajdowaliby się względem równika. Jednem słowem, utrzymywałby się statecznie taki stan rzeczy, jaki obecnie ma miejsce pierwszego dnia wiosny i pierwszego dnia jesieni. Gdyby pochylenie osi znaczniejsze było, każdy punkt ziemi byłby wystawiony na silniejszą niż obecnie zmienność temperatury w ciągu roku. Jeżeli więc obserwacye którejkolwiek planety dozwalają nam oznaczyć położenie jej biegunów, a tem samem kierunek jej osi, możemy stąd wyprowadzać wnioski uzasadnione o panujących na planecie tej warunkach klimatycznych.

ROZDZIAŁ V.

RACHUBA CZASU.

35) Czas gwiazdowy, słoneczny prawdziwy i średni.

O upływie czasu budzi w nas świadomość bieg zdarzeń, ciąg zjawisk po sobie idących, w szczególności zaś zmiana dni i nocy, oraz kolejne następstwo pór roku, a zatem objawy podwójnego ruchu ziemi. Przez nie przyroda tak potężnie oddziaływa na wszelkie sprawy nasze, że okresy te: dobę i rok, narzuca nam jako naturalne jednostki czasu. Dlatego to ustalenie dogodnej i pewnej rachuby czasu wiąże się ściśle z zadaniami astronomii, a w czasach zamierzchłej starożytności potrzeba ta była główną podnietą do rozpatrywania zawiłych ruchów ciał niebieskich.

Doba jest to przeciąg czasu, jakiego potrzebuje ziemia na dokonanie obrotu swego dokoła osi, który się odzwierciadla w pozornym obrocie sklepienia niebieskiego; dwa zatem kolejne przejścia jednej i tej samej gwiazdy przez południk znaczą czas obrotu ziemi. Nazywamy więc *dobą gwiazdową* czyli, jak się mniej właściwie mowić zwykło, *dniem gwiazdowym* przeciąg czasu, jaki upływa między dwoma kolejnemi górowaniami (§ 21) jednej i tej samej gwiazdy. Dobę gwiazdową dzieli się na 24 godzin, godzinę na 60 minut, minutę na 60 sekund gwiazdowych, doba zawiera zatem 86400 sekund. Za początek dnia gwiazdowego obrać można oczywiście przejście przez południk którejkolwiekbądź gwiazdy, astronomowie wszakże ze względów, które poznamy, liczą w każdem miejscu dzień gwiazdowy od chwili, gdy przez południk tego miejsca przechodzi znany nam punkt równonocny wiosenny Υ. Punkt ten na niebie nie jest wprawdzie żadną gwiazdą oznaczony,

poradzić sobie wszakże można obserwacyą którejkolwiek znanej gwiazdy. Tak, dajmy, że świetna gwiazda z konstelacyi Lwa, zwana Regulus, przechodzi przez południk w 10 godzin po przejściu punktu równonocnego; astronom więc w chwili, gdy gwiazdę tę dostrzega na południku, nastawia zegar swój na godzinę dziesiątą, a zegar tak nastawiony w chwili przejścia przez południk punktu ♈ wskazuje oczywiście godzinę 0, to jest początek doby gwiazdowej. Godziny liczą astronomowie w porządku kolejnym, t. j. od 0 do 24.

Rachuba wszakże czasu według dni gwiazdowych, wystarczająca zupełnie dla astronoma, byłaby zbyt niedogodna w życiu praktycznem, które zostaje w zależności od biegu gwiazdy dziennej, od słońca. *Doba* więc *słoneczna* czyli *dzień słoneczny* jest to przeciąg czasu, jaki upływa między dwoma kolejnemi górowaniami słońca, t. j. między dwoma kolejnemi przejściami jego przez południk, i dzieli się na godziny, minuty i sekundy słoneczne. Dzień słoneczny nie jest wszakże równy gwiazdowemu, jest od niego cokolwiek dłuższy, a to z powodu ruchu (pozornego), jaki słońce w ciągu roku wśród gwiazd posiada. Wyobraźmy sobie bowiem gwiazdę, która pewnego dnia wraz ze słońcem przez południk przechodzi; gdy wskutek obrotu dziennego gwiazda wróciła znów na południk, ukończyła się doba gwiazdowa; przez ten czas wszakże słońce, z powodu rocznego swego ruchu, przesunęło się nieco ku wschodowi, upłynąć zatem musi pewien jeszcze czas, zanim na południk przybędzie. W ciągu roku, czyli $365^1/_4$ dni, przebiega słońce cały okrąg na niebie, t. j. 360^0, w ciągu doby zatem przesuwa się prawie o jeden stopień, a że każdy punkt na niebie dla przesunięcia się o stopień pod wpływem obrotu dziennego potrzebuje $\frac{24}{360}$ godziny, czyli $\frac{24 \times 60}{360} = 4$ minuty, słońce zatem spóźnia się w powrocie na południk prawie o 4 minuty, skąd dzień słoneczny dłuższy jest od gwiazdowego prawie o 4 minuty, a dokładniej o 3 minuty 56,6 sekund. Stąd dalej dzień gwiazdowy = 23 godz. 56 min. 4,1 sek. słonecznym, a dzień słoneczny = 24 godz. 3 min. 56,6 sek. czasu gwiazdowego.

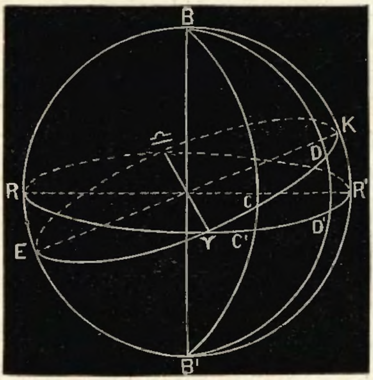
Pierwszego dnia wiosny, t. j. 23 marca, corocznie, jak wiemy, znajduje się słońce na równiku czyli przypada w punkcie równonocnym wiosennym. Dnia tego zatem przechodzi ono współcześnie z tym punktem przez południk, początek dnia gwiazdowego ma miejsce w południe, a zegar słoneczny i gwiazdowy wskazują jednaką godzinę. Następnego wszakże dnia słońce już o 4 minuty (prawie) przechodzi przez południk później, w chwili zatem południa mamy już 4 minuty czasu gwiazdowego, a drugiego dnia w południe zegar gwiazdowy daje już 8 minut. Po upływie miesiąca, gdy słońce przebiegło $1/_{12}$ część rocznej swej drogi, góruje ono we dwie godziny po punkcie równonocnym, czyli południe przypada o godzinie 2 czasu gwiazdowego. W ciągu roku różnica ta narasta coraz bardziej, doba zatem gwiazdowa rozpoczyna się w różnych chwilach bądź za dnia, bądź w nocy, co właśnie tłomaczy niemożebność posługiwania się czasem gwiazdowym w życiu zwyczajnem, a nawet i astronomowie odwołują się pospolicie do czasu słonecznego.

Czas słoneczny, wskazany istotnym biegiem słońca, nazywamy prawdziwym. I ten wszakże *czas słoneczny prawdziwy* źleby nam służył w życiu zwyczajnem, roczny bowiem bieg słońca nie jest jednostajny; w różnych epokach roku posuwa się ono po niebie z niejednakową szybkością, a to z dwu powodów.

Powód jeden polega na tem, że ziemia, jak poznamy następnie, roczną swą drogę dokoła słońca nie ze stateczną przebiega prędkością, w grudniu i w styczniu bieży nieco prędzej, aniżeli w czerwcu i lipcu, taż sama przeto niejednostajność wybija się i w biegu słońca, który jest odźwierciedleniem tylko istotnego ruchu ziemi.

Dla tej niejednostajności biegu słońca różnica powyższa 3 min. 57 sek. nie jest stateczna, lecz tylko średnia, w rzeczywistości zaś zmienia się od 3 min. 49 sek. w czerwcu do 4 min. 5 sek. w grudniu.

Ważniejszy wszakże powód zmienności czasu słonecznego wynika stąd, że słońce w ruchu swym rocznym nie posuwa się po równiku albo po równoleżniku, ale po ekliptyce, to jest po drodze pochylonej względem kierunku obrotu dziennego. Choćby więc słońce przebiegało codziennie po ekliptyce drogi równe, to wszakże łuki, drogom tym na równiku odpowiadające, nie byłyby równe. Dajmy bowiem, że słońce i w pobliżu punktu równonocnego i w pobliżu punktu przesilenia przebiega codziennie drogi równe ♈*C*,*DK* (fig. 45), to jednakże odpowiadające drogom tym łuki ♈*C'* i *D'R'* nie są równe. Z trójkąta bowiem ♈*CC'*, prostokątnego przy *C'*, okazuje się, że bok ♈*C'* jest mniejszy od przeciwprostokątni ♈*C*, a stąd dalej wypływa, że łuk *D'R'* natomiast większy być musi od łuku *DK*, ponieważ łuk ♈*K* =♈*R'*, jako ćwiartki równych okręgów kół. W następstwie tego, gdy słońce przypada w sąsiedztwie punktów równonocnych, w marcu i wrześniu, dnie słoneczne są o 20 sekund krótsze, w czerwcu zaś i grudniu o 20 sekund dłuższe ponad ich wartość średnią.



(Fig. 45).

Gdyby więc zegary nasze regulowane były według prawdziwego biegu słońca, musiałyby w pewnych porach roku biedz prędzej, w innych wolniej, i trzebaby poświęcić największą ich zaletę, to jest ich chód jednostajny. Korzystniejszem tedy okazało się odstąpienie od rachuby czasu według słońca prawdziwego, a za podstawę jej przyjęto pewne słońce hypotetyczne, słońce *średnie*, które obiega roczną swą drogę po równiku i zupełnie jednostajnie, jużto zatem wyprzedzając słońce rzeczywiste, posuwające się po ekliptyce, już pozostając za niem w tyle. Prędkość, z jaką słońce to biegnie,

jest wielkością średnią ze wszystkich w ciągu roku prędkości słońca prawdziwego. Południe średnie przypada, gdy przez południk miejsca przechodzi to słońce średnie, a czas upływający między dwoma kolejnemi jego przejściami stanowi *dobę słoneczną średnią* czyli *dzień słoneczny średni.* Początek dnia średniego ma miejsce w chwili, gdy słońce średnie przez południk przechodzi. Dla potrzeb wszakże życia zwyczajnego dogodniej jest datę zmieniać w nocy, dla tego za początek doby przyjmuje się przejście dolne słońca średniego, dołowanie jego, to jest chwilę, w której przechodzi przez niewidzialną część południka, zatem północ; astronomowie zaś liczą dobę od południa, to jest od chwili górowania słońca. Nadto, gdy w życiu zwyczajnem dzielimy dobę na dwie połowy po godzin dwanaście, astronomowie rachują godziny bez przerwy od 0 do 24.

Urojonego słońca średniego obserwować oczywiście nie możemy, bezpośrednio więc oznaczamy tylko czas prawdziwy. Zegary słoneczne czyli kompasy dają nam czas prawdziwy, ale właściwe nasze zegary wskazywać winny czas średni, który od prawdziwego w różnych porach roku rozmaicie odstępuje, a najwięcej o 16 minut. Aby zatem z obserwacyi czasu prawdziwego przejść do średniego, należy znać przypadającą na każdy dzień poprawkę czyli tak zwane *równanie czasu.* Cztery razy do roku równanie to czasu spada do zera, a wtedy czas średni schodzi się z prawdziwym; podczas dwu okresów pośrednich słońce średnie wyprzedza prawdziwe, podczas dwu drugich pozostaje za niem w tyle. Podajemy tu daty, kiedy się oba te czasy zbiegają, oraz kiedy odstęp między niemi jest największy:

Dnia	10	lutego	równanie	czasu	wynosi	+	15	minut.
„	15	kwietnia	„	„	„		0	„
„	14	maja	„	„	„	—	4	„
„	14	czerwca	„	„	„		0	„
„	25	lipca	„	„	„	+	6	„
„	31	sierpnia	„	„	„		0	„

Dnia 2 listopada równanie czasu wynosi — 16 minut.
„ 24 grudnia „ „ „ 0 „

Z tablicy tej widzimy, że dnia 10 lutego słońce średnie wyprzedza o 15 minut słońce prawdziwe, w chwili więc południa prawdziwego czas średni wynosi 12 godz. 15 min.; by zatem godzinę wskazaną przez zegar słoneczny poprawić, czyli zamienić ją na czas średni, trzeba do niej dodać 15 minut. Dnia 14 maja, natomiast, słońce średnie pozostaje za prawdziwem o 4 minuty w tyle, w chwili zatem południa prawdziwego czas średni wynosi 11 godz. 56 min.; dnia tego od czasu prawdziwego odejmować należy 4 minuty. Chcąc tedy regulować zegar wedle kompasu, potrzeba posiadać tablicę, zamieszczaną w dokładniejszych kalendarzach, która zawiera przypadające na każdy dzień równanie czasu; liczbę tę do czasu prawdziwego dodawać lub odejmować należy, stosownie do tego, czy poprzedzona jest znakiem + czy też znakiem —, t. j. czy jest liczbą dodatnią, czy też odjemną. Cztery tylko razy do roku, w datach wyżej podanych, zegary bez żadnych poprawek nastawiać można według kompasu. Znaczne te odstępstwa czasu średniego od prawdziwego, dochodzące aż do kwadransa, są następstwem stopniowego skupiania się drobnych, codziennych różnic, o jakich mówiliśmy wyżej. Skutkiem tej niezgody czasów południe naszych zegarów, regulujące podział dziennych zajęć, przyśpiesza się lub opóźnia względem istotnego biegu słońca, co nie uchodzi nawet uwadze ogółu, przeciąg bowiem czasu od wschodu słońca aż do południa dłuższy być może albo krótszy aniżeli przeciąg czasu od południa aż do zachodu słońca. Zagadka ta tem się poprostu tłomaczy, że wschód i zachód według rzeczywistego dostrzegamy słońca, południe zaś oznaczamy z naszych zegarów według słońca urojonego. Gdybyśmy południe rozumieli jako przejście przez południk słońca rzeczywistego, nie byłoby żadnej różnicy między przedpołudniowym a popołudniowym okresem dnia; południe wszakże naszych zegarów, według których bieg czasu oceniamy, przypadać może jużto bliżej wschodu aniżeli zachodu, już bliżej

zachodu aniżeli wschodu słońca, a różnica dochodzić może aż do półgodziny. W lutym, jak to widzimy z liczb przytoczonych, okres przedpołudniowy jest o pół godziny krótszy, w listopadzie o półgodziny dłuższy aniżeli okres popołudniowy. Dlatego to słyszymy o rankach dłuższych niż wieczory, lub o wieczorach dłuższych niż ranki; gdybyśmy wszakże czas mierzyli według zegarów słonecznych, różnicy tej by nie było, ranki i wieczory byłyby zawsze równe.

36) Oznaczanie czasu. Kompasy. Zegary.

Dokładne oznaczanie czasu, zarówno ze względów naukowych, jak i dla potrzeb życia zwyczajnego, jest jednem z najważniejszych zadań astronomii praktycznej. Jeżeli idzie o czas gwiazdowy, to widzieliśmy już, że potrzeba tylko uchwycić chwilę, kiedy gwiazda którakolwiek przechodzi przez południk, tablice bowiem astronomiczne czyli *efemerydy* podają, o ile każda ważniejsza gwiazda opóźnia się względem punktu równonocnego, którego przejście przez południk, jak wiemy, oznacza początek dnia gwiazdowego. Znając zaś czas gwiazdowy, przejść możemy łatwo do czasu słonecznego, w tychże bowiem efemerydach astronomicznych podany jest na każdy dzień roku czas gwiazdowy w chwili południa średniego, oraz tablice, ułatwiające zamianę jednego czasu na drugi.

Można też oczywiście czas słoneczny prawdziwy oznaczyć i z bezpośredniej obserwacyi słońca. Dajmy, że obserwujemy słońce w którejkolwiek chwili przed południem i oznaczamy jego wysokość, to jest wzniesienie się jego w tej chwili nad poziom; po przejściu przez południk słońce zaczyna się obniżać, należy więc tylko uchwycić chwilę, gdy posiada tęż samą wysokość, jaką miało podczas obserwacyi przedpołudniowej, a południe przypadało w jednakim odstępie czasu między obu obserwacyami. Jeżeli np. upłynęły między niemi 2 godz. 20 min. to w chwili drugiej obserwacyi jest godz. 1 min. 10

po południu. Aby według dostrzeżenia tego uregulować zegar, trzeba przejść do czasu średniego, to jest wprowadzić równanie czasu; jeżeli więc obserwacya miała miejsce 25 lipca, nastawimy zegar na godz. 1 min. 16. Bezpośrednie wszakże obserwacye słońca są trudniejsze aniżeli gwiazd i wymagają wielu ostrożności; gdy idzie o znaczną ścisłość, trzeba uwzględnić nawet ruch własny słońca, w ciągu bowiem kilka godzin, oddzielających obie obserwacye, zmienia już ono nieco położenie swe względem równika, a zatem i względem poziomu.

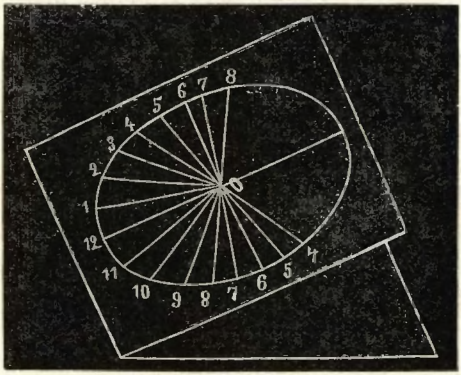
Najłatwiej wszakże, lubo bez dostatecznej ścisłości, prawdziwy czas słoneczny mierzyć możemy za pomocą *zegarów słonecznych* czyli *kompasów*, które ruch dzienny słońca przenoszą na przesuwanie się cienia, rzucanego przez pręt w ziemi utkwiony. Wynalazek zegarów słonecznych przypisywano filozofom szkoły jońskiej, następcom Talesa, Anaksymandrowi i Anaksymenesowi, z szóstego wieku przed Chrystusem, niewątpliwie wszakże znane one były znacznie dawniejszym astronomom Chaldei i Egiptu. W pierwotnej swej formie był to zresztą zapewne słup tylko lub filar, pionowo na płaszczyźnie poziomej wzniesiony, który oznaczał południe w chwili, gdy cień jego stawał się najkrótszym; jest to sławny *gnomon* astronomów starożytnych, budowany troskliwie i wciąż doskonalony, zanim ustąpił przyrządom astronomii dzisiejszej.

Aby wszakże zegar słoneczny zbudować, nie dosyć jest wbić pręt pionowy w ziemię i zatoczony dokoła niego okrąg na równe podzielić części, słońce bowiem wraz z całem niebem nie bieży dokoła linii pionowej, ale obraca się dokoła osi, która w różnych punktach ziemi rozmaicie jest względem poziomu pochyloną.

Najłatwiej tedy urządzić można zegar słoneczny, jeżeli pręt rzucający cień, czyli gnomon, ustawimy w kierunku osi świata, t. j. zwrócimy go ku gwiazdzie biegunowej, tarczy zaś nadamy położenie do pręta tego prostopadłe, a zatem umieścimy ją w płaszczyźnie równika (fig. 46). Na tarczy tej cień pręta co godzina obiegać będzie kąty równe, wynoszące po 15°;

należy więc tylko na tarczy tej poprowadzić szereg linij 04, 05, 06 i t. d., pochylonych wzajemnie pod kątami 15^0, a następnie tak ją ułożyć, aby linia 012 przypadała w kierunku linii południowej.

Ponieważ w klimatach naszych słońce nie wschodzi przed godziną 4 rano, ani nie zachodzi po godzinie 8 wieczorem, potrzeba zatem nakreślić tylko linie odpowiadające godzinom, zawartym między powyższemi granicami. Kompas taki nazywa się *równikowym* albo *równonocnym;* pomimo wszakże prostoty swej budowy przedstawia on tę niedogodność, że pochylony jest względem poziomu. Pamiętać nadto należy, że słońce na półkuli północnej wznosi się nad płaszczyznę równika jedynie w ciągu półrocza letniego, górną zatem stronę tarczy oświeca tylko od końca marca do końca września; przez zimowe zaś półrocze promienie słońca padają na dolną jej stronę, którą tedy, podobnie jak górną, zaopatrzyć należy w podziały, aby pręt, ku dołowi wydłużony, mógł cieniem swym godziny i w półroczu zimowem wskazywać.



(Fig. 46).

Aby niedogodności tych uniknąć, korzystniej jest kompas umieszczać poziomo lub pionowo. Trzeba więc sobie wyobrazić, że tarczę kompasu równikowego kładziemy na płaszczyznę poziomą lub pionową, przyczem pręt zachowuje zawsze kierunek osi świata; w takim wszakże razie linije 04, 05, 06 i t. d. nie tworzą już między sobą kątów równych po 15^0, a nakreślenie takiego kompasu wymaga pewnych zasad geometryi wykreślnej. Dlatego astronomowie na budowę kompasów łożyli wiele sta-

ranności, pomimo to wszakże zegar słoneczny może być bardzo niedostatecznym jedynie przyrządem. Pomijając już, że daje on czas prawdziwy, a nie średni, którym się posługiwać musimy, że godziny wskazywać może tylko za dnia i przy niebie pogodnem, to nadto niepodobna jeszcze oznaczyć na nim dokładnych i drobnych podziałów. Trzebaby konstrukcyi niezwykle starannej i wielkich wymiarów tarczy, aby odczytywać na niej dokładnie minuty; od czasu też udoskonalenia zegarów mechanicznych kompasy straciły wszelkie znaczenie praktyczne.

Starożytni zegarów istotnych nie posiadali, radzono sobie zaledwie *klepsydrami,* które oznaczały godziny albo drobniejsze ich części, z czasu przepływu wody lub przesypywania się piasku. Początek dzisiejszych naszych zegarów, poruszanych działaniem spadającego ciężaru, odnieść zapewne należy do wieku trzynastego i czternastego. Pomysł zastosowania spadku ciężaru czyli wagi do wprawiania w ruch mechanizmu zegarowego jest rzeczywiście bardzo prosty i dawno mógł się nasunąć; ciężar bowiem zawieszony na wale, dokoła swej osi ruchomym, wprawia go spadkiem swym w obrót, a zarazem i osadzone na nim koło zębate, którego ruch przenosi się na kółka dalsze i na skazówki. Bieg wszakże wagi spadającej pod działaniem siły ciężkości nie jest jednostajny, ale przyspieszony, wał zatem i cały z nim połączony mechanizm obracałby się coraz prędzej, a zegar wskazywałby godziny coraz krótsze. Trudność polegała przeto jedynie na obmyśleniu środków ujednostajnienia tego ruchu, ale cel ten zdołano osiągnąć znacznie później dopiero za pośrednictwem wahadła, gdy Galileusz wykrył zasadniczą jego własność, izochronizm czyli równoczesność wahnięć, polegającą na tem, że wahadło danej długości dokonywa wahnięcia swe w jednakowym zawsze czasie, czy to one są więcej, czy też mniej obszerne, byleby obszerność ta pewnych granic nie przekraczała. Na tej więc zasadzie zastosował Huyghens w roku 1657 do dawnych zegarów wagowych wahadło, które równoczesnością swych wahań zapewniło mu bieg jednostajny. Od połowy zatem dopiero

wieku siedemnastego posiadamy istotne zegary, a chwała ich wynalazku bezspornie Huyghensowi przypada.

W zegarach tych zatem ciężar czyli waga, zawieszona na wale, wprawia w obrót wraz z tym wałem i osadzone na nim koło zębate, które powoduje ruch dalszych kół przyrządu. Byłby to wszakże ruch przyspieszony, ale wahadło przerywa go w jednakich odstępach czasu, a tem samem ujednostajnia i reguluje. Pośrednikiem zaś między wahadłem a właściwym przyrządem zegarowym jest wychwyt, czyli kotwica tak z wahadłem związana, że wraz z niem się kołysze, zahaczając kolejno o zęby koła na wale osadzonego.

Wahadło samo przez się długo służyć by nie mogło, z powodu bowiem tarcia na osi, na której jest zawieszone, i z powodu oporu powietrza, rychłoby ruch swój wstrzymało, gdyby uderzenia wychwytu o zęby koła na wale osadzonego, nie nadawały mu wciąż nowego impulsu.

Waga więc opadająca stanowi siłę poruszającą dla całego systemu kół, a za pośrednictwem wychwytu podtrzymuje i kołysania wahadła; z drugiej strony wahadło, za pośrednictwem tegoż wychwytu, stanowi regulator dla szybkości spadku wagi.

Szybkość wszakże kołysań wahadła zależy od jego długości; wahadło krótkie kołysze się szybciej, długie wolniej, na bieg zatem zegarów wpływa temperatura, której wzrost powoduje wydłużenie wahadła. Przy temperaturze wyższej zegar się spóźnia, przy niższej śpieszy. Szkodliwemu temu oddziaływaniu temperatury zaradzono przez połączenie wahadła ze stosownym kompensatorem, który wpływ jej usuwa. W zasadzie ogólnej zegary wahadłowe zachowały dotąd urządzenie Huyghensa, szczegółowe wszakże zmiany i ulepszenia oddzielnych części zegarów wprowadzały się i wprowadzają bezustannie, najcelniejsze zaś znaczenie mają zmiany obmyślone przez Clementa (1680), Grahama (1675—1751) i Harrisona (1693—1776).

Drugi typ zegarów stanowią zegary przenośne, które w mniejszych rozmiarach stanowią zegarki, budowane zaś ze

starannością, odpowiadającą wymaganiom naukowym, zwane są *chronometrami,* t. j. czasomierzami. W miejsce opadającej wagi ruch mechanizmu wywołuje tu sprężyna, która, przez przez nakręcenie wyprowadzona ze stanu równowagi, usiłuje do stanu tego wrócić, czem powoduje ruch połączonych z nią kółek.

Ruch ten wszakże, ciągłem rozkręcaniem się sprężyny utrzymywany, zachodziłby również coraz prędzej; każda bowiem siła statecznie działająca, jakby przez coraz sumujące się impulsy, wywołuje ruch przyspieszony. Potrzeba i tu zatem regulatora, któryby w jednakich odstępach czasu ciągłość tego ruchu przerywał. Regulatorem tym jest kombinacya, która pod wpływem sprężystości, ruchy wahadłowe wykonywa. Jest to bowiem małe, na osi osadzone kółko, opatrzone w bardzo cienką i spiralnie zwiniętą sprężynkę, zwaną włosem; skręty tego włosa, ze stanu równowagi usunięte, rozszerzają się i ściągają, przenosząc ruch ten na połączone z niemi kółko, które stąd kręci się wciąż na prawo i na lewo. Balansyer ten zatem odgrywa rolę wahadła i ze sprężyną poruszającą tak jest systemem wychwytów związany, że ciągłość jego działania wciąż przerywa, sam zaś doznaje bezustannych popędów, które zapewniają jednostajność jego kołysań.

W zegarach wszakże sprężynowych nieuniknioną jest większa zawiłość aniżeli w wagowych. Waga bowiem spada biegiem jednostajnie przyspieszonym, przez skręcenie zaś wzbudzona sprężystość w miarę rozwijania się sprężyny słabnie, wywiera ona przeto na mechanizm zegara ciśnienie coraz mniejsze i powodowałaby ruch niejednostajnie przyspieszony. Konieczne jest tu urządzenie dodatkowe, któreby usuwało wpływ ciągłego słabnięcia siły poruszającej, a to w różnych konstrukcyach osiągnięto różnemi sposobami. Nadto, jak na wahadło zegarów wagowych, tak też wpływa ciepło i na balansyery zegarów sprężynowych, a nawet silniej jeszcze, nietylko bowiem wzrost temperatury działa na sprężystość drgającego włosa, ale zarazem powiększa i średnicę kółka,

w którem jest on osadzony. I tu zatem, jak przy zegarach zwykłych, trzeba było wprowadzić odpowiednią kompensacyę.

Zegary sprężynowe pojawiły się w początkach wieku szesnastego, wprowadzenie sprężyny spiralnej czyli włosa zawdzięczamy znowu Huyghensowi, a pierwszy zegarek kieszonkowy wedle jego wskazówek wyrobił zegarmistrz Turet w Paryżu 1674 roku. Huyghens wykazał nadto pożytek jaki dać mogą takie zegary przenośne przy oznaczaniu długości geograficznej, zwłaszcza na morzu (§ 42), a z tego względu parlament angielski wyznaczył nagrodę 20,000 funtów za ich udoskonalenie. Połowę tej znacznej nagrody osiągnął przytoczony już wyżej Harrison dopiero w roku 1764, gdy, wprowadziwszy kompensacyę i inne ulepszenia, dostarczył admiralicyi brytańskiej chronometr przedstawiający pożądaną ścisłość; od owego czasu sztuka wyrabiania dokładnych chronometrów tak się rozwinęła, że, zdaje się, doszła już do granicy dla biegłości człowieka dostępnej.

Dobry zegar nie powinien dawać rzeczywiście błędu większego nad pół sekundy na dobę, czyli przekraczającego drobny ułamek $\frac{1}{172800}$, a tanie nawet zegarki błądzą zaledwie o dwie lub trzy minuty na tydzień, dokładność ich zatem wynosi $\frac{3}{10000}$. Wyborne chronometry dochodzą ścisłości $\frac{1}{432000}$, w ciągu doby bowiem dają różnicę nie przechodzącą piątej części sekundy.

37) Kalendarz. Reforma Juliańska i Gregoryańska.

Również naturalną jednostką czasu, jak dzień, jest rok, a mianowicie, jak widzieliśmy (§ 32), rok zwrotnikowy, którego długość wynosi 365 dni 5 godz. 48 min. 46 sek., czyli, jeżeli części dnia wyrazimy w ułamku dziesiętnym, 365,24220 dnia. Mowa tu o dniach słonecznych średnich; ponieważ zaś słońce spóźnia się względem gwiazd codziennie w przejściu przez południk, a suma tych opóźnień codziennych po upływie roku stanowi całą dobę, dni przeto gwiazdowych w roku zwrotni-

kowym zawiera się o jeden więcej, czyli 366,24220. Nas wszakże obchodzić mogą jedynie dnie słoneczne, od nich bowiem zależą sprawy życia codziennego.

Gdyby rok zwrotnikowy składał się z całkowitej liczby dni, nie byłoby kłopotu z urządzeniem kalendarza; obejmuje on wszakże niespełna $365^1/_4$ dnia, a do tej wielkości brak mu tylko 11 minut 15 sekund. Rok jednak złożony z ułamkowej liczby dni nie może nam posługiwać w stosunkach życia zwyczajnego; gdybyśmy bowiem rachowali po $365^1/_4$ dnia, to rok, któryby się rozpoczął o północy, skończyłby się o godzinie szóstej; w ciągu roku następnego zatem początek każdego dnia liczyćby należało od godziny szóstej, tak jak w ciągu roku dalszego od południa. Celem więc kalendarza jest pogodzenie wymagań życia praktycznego z długością roku zwrotnikowego.

Jak inne zasadnicze urządzenia społeczne, tak też i kalendarz przeszedł do nas od Rzymian, którzy go sami zawdzięczali Egiptowi. Dawni bowiem Egipcyanie posługiwali się rokiem słonecznym, ale liczyli go okrągło po dni 365; rok ten był zatem zakrótki o ćwierć dnia blizko, a chwila równonocy wiosennej opóźniała się corocznie o 6 godzin; po upływie 120 lat różnica narastała już do 30 dni, czyli do całego miesiąca. Według kalendarza od miesiąca już trwała wiosna, gdy słońce dopiero ją w rzeczywistości sprowadzało. Gdyby zaś błąd ten mnożył się dalej, w ciągu 1460 lat, mniej więcej, różne pory obiegłyby wszystkie miesiące. Zmienność ta przypadała do gustu pojęciom religijnym dawnych Egipcyan, po upływie bowiem przytoczonego okresu wszystkie miesiące uświęcone byłyby różnemi uroczystościami religijnemi, których obchód przypadał na różne daty roku; z wymaganiami wszakże bardziej uregulowanego życia dzisiejszego stosunki takie pogodzić by się nie mogły.

W pierwszych latach istnienia państwa rzymskiego rok składał się tylko z dziesięciu miesięcy i obejmował 304 dni; Numa dodał styczeń i luty, skutkiem czego liczba dni roku wzrosła do 355. Następnie poznano niedogodność podobnego

roku cywilnego, znacznie krótszego od roku zwrotnikowego, i postanowiono poprawić go przez dodawanie co dwa lata miesiąca przybyszowego, zwanego Mercedonius, który wtrącano, w dziwaczny dosyć sposób, między 23 a 24 lutego. I ten wszakże dodatek nie sprowadził pożądanej zgody między rokiem cywilnym a słońcem, a nadomiar złego, decyzyę co do wprowadzania tego miesiąca dodatkowego i oznaczanie jego długości pozostawiono władzy arcykapłana, *pontifex maximus.* Arcykapłani oczywiście nie omieszkali z władzy tej korzystać wedle swych upodobań lub swych interesów, dawało im to bowiem możność dowolnego oznaczania epoki odnawiania urzędów, co stało się źródłem zepsucia i przekupstwa. Za czasów Juliusza Cezara zamęt doszedł do tego stopnia, że święto żniw przypadało w zimie, a uroczystość zwaną *autumnalia* obchodzono na wiosnę. Dla zaradzenia właśnie takiemu stanowi rzeczy dyktator ten podjął reformę kalendarza, która dotąd imieniem jego jest oznaczana.

Reforma Juliańska, zaprowadzona według rądy astronoma aleksandryjskiego Sozygenesa, polega na wtrącaniu co cztery lata dnia dodatkowego, przyjmuje tedy średnią długość roku po $365^1/_4$ dnia; aby zaś pory roku przywrócić na odpowiadające im daty, rok zaprowadzenia reformy, który był rokiem 709 od założenia Rzymu, albo rokiem 46 przed narodzeniem Chrystusa, przeciągnięto do 445 dni *(annus confusionis,* rok zamięszania). Dodać jeszcze należy, że kapłani, którzy mieli reformę tę stosować, nie zrozumieli ustanowionego prawidła, i zamiast dodawać dzień przybyszowy *po* każdych trzech latach, liczyli rok przestępny *co* każde trzy lata; powstały stąd błąd poprawiono za Augusta przez wytrącenie dni nadliczonych.

Ponieważ długość roku Juliańskiego obejmuje średnio dni 365,25, przechodzi więc podaną wyżej długość roku zwrotnikowego o $11^1/_4$ minuty; różnica ta wydaje się drobną, ale, nagromadzając się, czyni po upływie 128 lat całą dobę. Wypływa stąd, że chwila równonocy wiosennej, która za Cezara

przypadała 25 marca, po upływie 128 lat nastąpiła już 24 marca, potem 23 marca, a nakoniec w roku 325, w czasie soboru Nicejskiego, miała miejsce 21 marca. Sobór Nicejski przyjął kalendarz Juliański za podstawę do oznaczania dat świąt kościelnych, a chwilę równonocy wiosennej ustanowił na 21 marca, ale zachował i nadal długość roku o 365,25 dniach, skąd epoka równonocy i następnie cofała się o dzień jeden co lat 128. W końcu więc wieku szesnastego błąd wynosił już 10 dni, a porównanie wiosenne przypadało 11, nie zaś 21 marca. Gdyby rzeczy biegły tak dalej, niezgodność pór roku z odpowiedniemi im datami byłaby coraz bardziej rażącą, a uroczystość Wielkiejnocy, którą półkula północna święci powrót słońca i odzyskanie przewagi dnia nad nocą, obchodzonaby była w lecie, a następnie i w jesieni.

Na to przesuwanie się wytycznych punktów roku zaczęto zwracać uwagę w wieku XV (Piotr z Alliaco, Mikołaj Cusa); w roku 1475 papież Sykstus IV zawezwał do Rzymu w celu rewizyi kalendarza słynnego Regiomontana; nagła wszakże śmierć tego astronoma, spowodowana może otruciem, zamiar ten unicestwiła. W 40 lat później papież Leon X ogłosił breve, wzywające do obmyślenia sposobów naprawy kalendarza, a uznanie zjednał sobie wtedy memoryał, złożony przez Marcina z Olkusza, profesora akademii jagielońskiej. Urzeczywistniony został wreszcie zamiar ten przez papieża Grzegorza XIII, który tą drogą pontyfikat swój uświetnić pragnął; wypracowany z polecenia jego przez Aloizego Lilliusa projekt reformy kalendarza rozesłany został 1577 roku do rozpatrzenia akademiom europejskim, a wreszcie powierzony umyślnie ustanowionej komisyi, która ostatecznie uchwaliła naprawę kalendarza, od imienia papieża nazwaną Gregoryańską.

Reforma ta obejmowała dwie zmiany, jedna tyczyła się błędu bieżącego, druga usuwała źródło tego nieładu w przyszłości; za długość zaś roku przyjęto wartość w tablicach Alfonsowych (t. j. w tablicach astronomicznych, sporządzonych z polecenia Alfonsa X, króla Kastylii i Leonu w roku 1252),

podaną przez nadzorcę synagogi w Toledo, rabi Izaaka Aben-Sid, mianowicie 365 dni 5 godz. 49 min. 16 sek., co od długości roku Juliańskiego odstępuje o 10 minut 44 sekund. Porównanie wiosenne sprowadzono do 21 marca przez zniesienie 10 dni w ten sposób, że dzień następujący po 4 października 1582 roku liczono jako 15 października. Co do przyszłości zaś postanowiono, aby w każdym okresie 400 letnim usuwać trzy dni przybyszowe, a to według prawidła następującego: W kalendarzu Juliańskim był przestępnym każdy rok oznaczony liczbą podzielną przez 4, wszystkie zatem lata wiekowe, t. j. o liczbach zakończonych dwoma zerami, były przestępne; w kalendarzu zaś Gregoryańskim z czterech lat wiekowych po sobie idących jeden rok tylko jest przestępnym, ten mianowicie, którego liczba po odrzuceniu dwu zer podzielną jest przez 4. Według tego rok 1600 był przestępnym, lata 1700, 1800, 1900 są zwyczajne, rok zaś 2000 będzie przestępny. Usunięcie trzech lat przestępnych z okresu 400 letniego wychodzi na zmniejszenie średniej długości każdego roku o $\frac{3}{400}$, w kalendarzu zatem Gregoryańskim długość średnia roku wynosi:

$$365{,}25 - \frac{3}{400} = 365{,}25 - 0{,}0075 = 365{,}2425 \text{ dnia.}$$

Zmiana zarządzona przez Grzegorza XIII w dniu oznaczonym wprowadzoną została we Włoszech, w Hiszpanii i Portugalii, w Polsce 1 listopada tegoż roku [1]), we Francyi w dwa miesiące później, w katolickich obszarach Niemiec w roku 1583, w Węgrzech w roku 1587. Kraje protestanckie Niemiec przyjęły kalendarz poprawiony dopiero w roku 1699, Anglia ledwie w roku 1752, Szwecya w roku 1753. W czasie wprowadzenia reformy różnica między kalendarzem Juliańskim

---

[1]) Błędnie sądzono, że reforma kalendarza w Polsce zaprowadzoną została dopiero w roku 1586; według objaśnienia A. Pawińskiego dokument urzędowy z dnia 1 listopada 1582 roku zawiera dodatek *„juxta correctionem calendarii"* (Wszechświat z roku 1888. str. 284).

a Gregoryańskim wynosiła dni 10; w wieku XVII pozostała bez zmiany, rok bowiem 1600 przestępny był w obu kalendarzach. Lata natomiast wiekowe 1700 i 1800, przestępne w kalendarzu dawnym, były zwyczajne w nowym, różnica więc czyni obecnie dni 12, a po roku 1900 wzrośnie do dni 13. Rok 2000 będzie znów w obu kalendarzach przestępnym, dopiero zatem po roku 2100 różnica znów się o dzień jeden powiększy. W porównaniu z istotnym rokiem zwrotnikowym rok Gregoryański jest jeszcze nieco zadługi, różnica wynosi wszakże zaledwie 0,0003 dnia, ilość tak drobną, że doba cała uzbierać się z niej może dopiero w ciągu kilku tysięcy lat. Myślano wszakże i o uregulowaniu kalendarza nawet na przyszłość tak odległą. Przytoczona wyżej długość roku zwrotnikowego nie jest wielkością zupełnie stałą, maleje bowiem obecnie w ciągu wieku o 0,595 sekundy, a ubytek ten po upływie kilku tysiącoleci przejdzie w drobny przyrost. Wogóle zaś chwiejność roku zwrotnikowego nie przekracza 19 sekund wyżej lub niżej średniej jego długości, która przypada na rok 2270 i wynosi 365 dni 5 godz. 48 min. 45 sekund.

Opierając się tedy na znajomości powyższych liczb, wykazano, że kalendarz Gregoryański, jeżeli nie zostanie poprawiony, po 30000 lat odstąpi od prawdy o tyle tylko, o ile zbaczał kalendarz Juliański w czasie zaprowadzenia reformy Gregoryańskiej, to jest o 10, a najwyżej o 11 dni, dla należytego przeto uregulowania kalendarza wystarcza wyrzucanie co 3200 lat jednego dnia przybyszowego. W taki więc sposób lata 3200 i 6400, które według reguły Gregoryańskiej byłyby przestępnemi (lata te bowiem po odrzuceniu zer są podzielne przez 4), dla utrzymania zgody ze słońcem według powyższego projektu będą zwyczajnemi. Jest to wszakże przyszłość zbyt odległa, aby się nią dzisiejsze pokolenie zajmować miało.

Rzecz godna uwagi, że Persowie, którzy się również rokiem słonecznym posługują, posiadają kalendarz bliżej przystępujący do rzetelnej wartości roku zwrotnikowego, aniżeli Gregoryański. Kalendarz ten, oddawna już w Persyi używany,

polega na okresie 33 letnim, w którym pierwszych lat 28 liczy się jak w kalendarzu Juliańskim, to jest o każdym czwartym roku przestępnym, z pozostałych zaś pięciu lat cztery są zwyczajne, a dopiero piąty przestępny. Gdy więc w kalendarzu Juliańskim przypada ośm lat przestępnych na każde 32 lata, to kalendarz perski liczy 8 lat przestępnych na każde 33 lata, średnia zatem długość roku perskiego wynosi dni $365+\frac{8}{33}$ $=365,2424$, co odstępstwo jednej doby sprowadza dopiero po 4800 latach; kalendarz ten zatem jest dokładniejszy nawet aniżeli Gregoryański, mniejsza jednak prostota reguły, pożyteczność jej osłabia.

38) Kalendarz księżycowy. Miesiąc.

Jakkolwiek biegiem księżyca zajmiemy się dopiero następnie, wypada nam wszakże rzecz o kalendarzu uzupełnić wiadomością o roku księżycowym, to jest o roku złożonym z dwunastu miesięcy księżycowych, gdyż w dziejach kalendarza przypada mu ważne znaczenie. Następstwo odmian księżyca przykuwało uwagę człowieka od najdawniejszych czasów, dlatego też obrał on za jednostkę czasu okres upływający między jednym a następnym nowiem, co, jak poznamy, jest przeciągiem czasu, po jakim księżyc wraca do poprzedniego swego względem słońca i ziemi stanowiska. Przeciąg ten czasu nazywa się ściślej *miesiącem synodycznym,* trwa zaś 29 dni i niespełna 13 godzin; dwanaście takich miesięcy odpowiadają mniej więcej czasowi obiegu ziemi dokoła słońca, złożono z nich przeto rok księżycowy. Gdyby miesiąc księżycowy liczył okrągło dni 30, a rok dni 360, zastosowanie obu tych jednostek do miary czasu nie przedstawiałoby żadnej zgoła trudności. Skoro wszakże miesiąc nie dochodzi o kilka godzin do pełnej liczby dni 30, a rok obejmuje blizko $12^1/_2$ miesięcy księżycowych, przeto usiłowanie pogodzenia obu tych okresów prowadzi do mozolnych zawikłań, których ślady dostrzegamy i w nierównej długości miesięcy naszego kalendarza.

Miesiąc księżycowy, czyli przeciąg czasu upływający między dwoma nowiami, wynosi nieco nad $29^1/_2$ dnia, przy posługiwaniu się przeto takiemi miesiącami liczono je naprzemian po 29 i po 30 dni. Okres wszakże $29^1/_2$ dnia jest w rzeczywistości o $^3/_4$ godziny zakrótki, w ciągu zatem trzech lat omyłka czyni już pełną dobę, co wymaga dodatku dnia do któregokolwiek miesiąca. Jeżeli nadto za główną podstawę rachuby przyjmuje się miesiąc księżycowy, to rok z dwunastu takich miesięcy ustanowiony obejmowałby tylko 354 dni i byłby względem roku słonecznego o 11 dni zakrótki. Pomimo tak uderzającej niedogodności, był rok księżycowy w użyciu u różnych narodów starożytnych, nawet u Greków, a pierwotnie i u Rzymian, pewne zaś praktyki religijne, z odmianami księżyca związane, zapewniają mu dotąd poważanie u narodów wschodnich.

Kalendarz turecki, mianowicie, opiera się na czystym, bez żadnych poprawek roku księżycowym,—każdy zatem dzień nowego roku wyprzedza o 11 dni bieg słońca, a różne miesiące i różne święta w krótkim stosunkowo przeciągu czasu obiegają wszystkie pory; święto, obchodzone w lecie, po niewielu już latach przypada w zimie. Zamęt w *kalendarzu greckim* został w części usuniętym przez wprowadzenie okresu czyli cyklu wykrytego przez Metona w piątym wieku przed Chrystusem. Cykl Metona polega na tem zestawieniu, że w ciągu 19 lat słonecznych księżyc ulega 235 pełnym swym przeobrażeniom czyli lunacyom, jak to wykazuje następne zestawienie:

235 lunacyi czynią	6939	dni	16	godzin	31	minut.
19 lat zwrotnikowych	6939	„	14	„	27	„
19 lat juliańskich	6939	„	18	„	0	„

Na 19 zatem lat słonecznych przypada 235 miesięcy księżycowych, to jest o 7 ponad liczbę $228=12\times19$; jeżeli się więc rozrzuci między 19 lat 7 dodatkowych miesięcy, to można w okresie tym przeciętną długość roku doprowadzić do dostatecznej ze słońcem zgody. Liczby porządkowe każdego roku cyklu Metona, od 1 do 19, oznaczane były złotemi głoskami

na pomnikach, skąd poszła nazwa liczby złotej, dotąd w kalendarzach występująca.

Kalendarz religijny żydów opiera się na cyklu Metona, w okresie zatem 19 letnim przypada 12 lat zwyczajnych o 12 miesiącach i 7 lat przestępnych o 13 miesiącach; rok zwyczajny średni ma dni 354, rok przestępny średni dni 384, są wszakże lata mające mniej lub więcej o jeden dzień, skąd kalendarz żydowski ma lata sześciorakie o 353, 354, 355, oraz o 383, 384 i 385 dniach.

Przeciętna długość roku w kalendarzu tym wynosi 365,24682 dnia, przystępuje przeto do prawdziwej wartości roku zwrotnikowego bliżej nawet nieco, aniżeli w kalendarzu Juliańskim, zbytnia wszakże zawiłość i znaczna niejednostajność długości roku odejmują tej rachubie czasu cechę praktyczności.

Pod względem zatem dokładności, z jaką zbliżają się do prawdziwej wartości roku zwrotnikowego, różne kalendarze idą w porządku następującym:

Rok	zwrotnikowy	365,2422	dni	słonecznych	średnich.
„	perski	365,2424	„	„	„
„	gregoryański	365,2425	„	„	„
„	żydowski	365,2468	„	„	„
„	juliański	365,2500	„	„	„

We wszystkich więc tych kalendarzach średnia wartość roku jest nieco zadługa; widzieliśmy jednak, że w kalendarzu gregoryańskim potrzeba wytrącenia jednego dnia nastąpi dopiero po kilkunastu stuleciach; pod względem zatem praktycznym kalendarz ten przedstawia zupełną zgodę z biegiem słońca.

39) Wiadomości dodatkowe o rachubie czasu.

Wspomniany wyżej okres czyli cykl Metona ma dotąd znaczenie w kalendarzu, a to z powodu urządzeń kościelnych, w szczególności zaś służy do dochodzenia daty Wielkiejnocy.

Gdy żydzi święto paschy obchodzą przy pierwszej pełni, która ma miejsce po porównaniu wiosennem, postanowił sobór nicejski, że święto Wielkiejnocy winno się obchodzić w niedzielę po pierwszej pełni przypadającej po 20 marca, co powoduje łączność kalendarza kościelnego z księżycowym.

Liczba złota, jak widzieliśmy, wskazuje numer porządkowy każdego roku w 19 letnim cyklu Metona. Daty pełni odpowiadają temu okresowi, po upływie zatem 19 lat wracają na też same, albo prawie na też same dnie. Jeżeli więc zapisujemy kolejno daty pełni wielkanocnej, to w dziewiętnastu po sobie idących latach nie napotkamy nigdy tegoż samego dnia; w dwudziestym wszakże roku pełnia ta przypadnie na tęż samą datę, co w roku pierwszym, albo odstąpi od niej zaledwie o jeden dzień i ciąg dat powtórzy się w następnym okresie w tymże samym porządku. Liczba zatem złota danego roku wskazuje ze ścisłością dostateczną dla celów kościelnych, na który dzień, albo w ile dni po równonocy wiosennej przypada pełnia wielkanocna. Do oznaczenia zresztą niedzieli wielkanocnej potrzebne są inne jeszcze dane, a mianowicie litera niedzielna i epakta.

Litera niedzielna jest to głoska odpowiadająca pierwszej niedzieli roku, jeżeli dzień 1 stycznia oznaczymy przez A, 2 przez B, 3 przez C i t. d., po tygodniu zaś dzień 8 znowu przez A, i t. d. *Epakta* daje wiek księżyca dnia 1 stycznia, to jest liczbę dni, jaka od ostatniego nowiu upłynęła do 1 stycznia. Obliczenia kościelne niedzieli wielkanocnej polegają na bardzo dawnych tablicach księżyca; opierając rachunki na dokładnem położeniu księżyca, możnaby nieraz termin kalendarzowy Wielkiejnocy o tydzień znaleść błędnym.

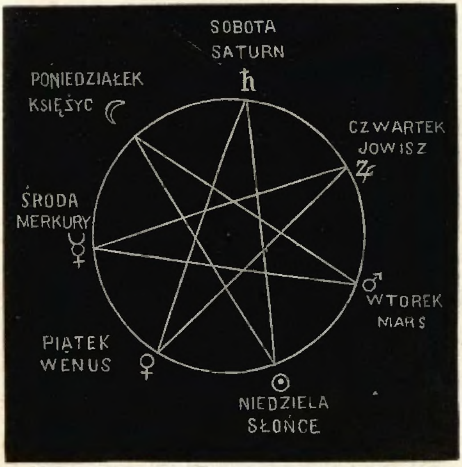
Skrajne daty, w jakich przypadać może Wielkanoc, łatwo jest oznaczyć. Gdyby pełnia wielkanocna miała miejsce 21 marca, i gdyby ten dzień był sobotą, Wielkanoc obchodzonoby nazajutrz dnia 22 marca; jestto zatem najwcześniejsza data Wielkiejnocy. Jeżeli, natomiast, pełnia marcowa następuje

20 marca, to wielkanocną będzie następna dopiero pełnia, która nastąpi w 30 dni później, to jest 18 kwietnia; jeżeli więc nadto dzień ten przypada w niedzielę, święto obchodzonem będzie niedzieli następnej, 25 kwietnia; tego dnia zatem najpóźniej przypadać może Wielkanoc.

Miesiące w kalendarzu naszym, mającym za podstawę rok słoneczny, nie odpowiadają już żadnemu okresowi astronomicznemu, następstwo ich nie pozostaje zgoła w związku z przebiegiem odmian księżyca, są one jednak niezbędne w życiu zwyczajnem, jako jednostki pośrednie między dniem a rokiem, chociaż nie stanowią nawet dwunastych części roku, obejmują bowiem po 30 i 31, a nawet 28 i 29 dni. Podział taki roku rzeczywiście uzasadnienia żadnego nie posiada i jest jedynie pozostałością urządzeń religijnych dawnego Rzymu. Zupełnej jednostajności miesięcy osiągnąć zresztą niepodobna, liczba bowiem 365 nie jest podzielna przez 12; nie dzieli się również przez 10, podział zatem roku na 10 miesięcy nie byłby z tego względu korzystniejszym.

Tydzień stanowi przeciąg czasu od miesiąca i od roku w kalendarzu słonecznym zgoła niezależny, siedmiodniowy jednak okres, używany u różnych narodów, sięga najdawniejszych czasów. Wiąże się on zapewne z kabalistycznem znaczeniem, jakie przypisywano siódemce, i tłomaczy potrzebą wypoczynku po niewielkiej liczbie dni pracy. Z dawną astronomią, a raczej astrologią, tydzień wiązał się w ten sposób, że każdy dzień innej był poświęcony planecie; rozkład planet między dnie zachodził według typowej figury astrologicznej (fig. 47). Ciała niebieskie ułożone są na okręgu koła w kierunku przeciwnym biegowi skazówki na zegarze i w porządku odległości ich od ziemi według układu Ptolemeusza, dnie zaś tygodnia według biegu cięciw, punkty powyższe łączących. Figura ta tłomaczy zarazem nazwy dni tygodnia w języku łacińskim, oraz w językach, które je z łaciny zaczerpnęły (dies solis, sonntag; dies lunae, montag, lundi; dies martis, mardi i t. d.).

Początek roku u różnych narodów i w różnych czasach liczono od różnych dat. Rzymianie za początek roku przyjmowali dzień 1 marca, czem się tłomaczą nieodpowiednie dziś nazwy łacińskie: September, October, November i December na oznaczenie 9, 10, 11 i 12 miesiąca roku. Chrześcijanie w najdawniejszych czasach, aby uniknąć zbliżenia do pogan, nie obchodzili świętem kościelnem pierwszego dnia roku cywilnego, a swawole, jakie miały miejsce podczas saturnalii rzymskich, skłaniały i późniejsze sobory do zabraniania obchodu nowego roku. W różnych krajach europejskich umieszczano początek roku w różnych datach, bądź 25 marca, bądź też na Boże Narodzenie lub na Wielkanoc. Zdaje się, że liczenie roku od 1 stycznia upowszechniło się dopiero w wieku szesnastym, we Francyi przynajmniej edykt urzędowy ustanawiał tę datę od roku 1564.



(Fig. 47).

W Anglii dzień 25 marca przyjmowano za początek roku aż do roku 1751, to jest do czasu wprowadzenia reformy gregoryańskiej. Ponieważ tedy rok 1752 rozpoczął się tam już 1 stycznia, rok poprzedzający liczył tylko 9 miesięcy; projektodawca bilu, który zmianę tę wprowadzał, lord Chesterfield, zaledwie zdołał się ocalić przed wzburzeniem ludu, rozjątrzonego, że mu wydarto trzy miesiące życia, a w ciągu dziewięciu miesięcy kazano się ludziom o cały rok zestarzeć.

Ze względów historycznych wspomnimy tu też o *kalendarzu rzeczypospolitej francuskiej.*

Gdy mianowicie zaprowadzono nowy układ miar i wag (§ 10), aby ustanowić też jednostajniejszy podział roku, obmyślono nowy kalendarz republikański. Kalendarz ten wprowadzony został postanowieniem konwencyi narodowej z dnia 5 października 1793, ale rok I-szy ery republikańskiej datować się już miał od porównania jesiennego 1792 roku. Rok składał z 12 miesięcy, liczących okrągło po dni 30, i z 5 dni uzupełniających, przeznaczonych na obchód święta republikańskiego. Zamiast tygodni przyjęto podział miesiąca na trzy *dekady* dziesięciodniowe; dzień ostatni każdej dekady był dniem wypoczynku. Nazwy miesięcy, poczynając od 22 września, były: Vendemiaire, Brumaire, Frimaire; Nivôse, Ventôse, Pluviôse; Germinal, Floréal, Prairial; Messidor, Thermidor, Fructidor. Kalendarz ten używany był we Francyi przez lat czternaście, a różne jego daty upamiętniły się w dziejach.

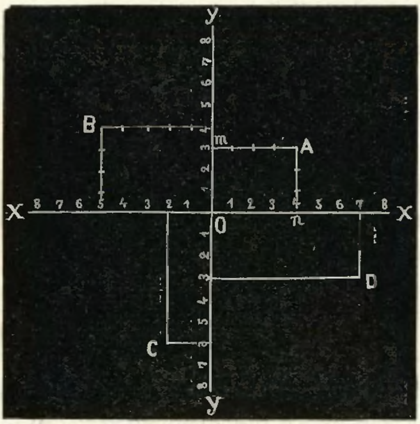
I teraz jeszcze sądzą niektórzy, że kalendarz obecny mógłby być dogodniej urządzony. Zarzucono mianowicie, że lata idące po sobie nie są do siebie podobne, czyli że na każdy rok potrzeba osobnego kalendarza, nie ma bowiem statecznego związku między dniami tygodnia, a datami miesiąca i roku. Pochodzi to stąd, że rok obejmując 365 dni, składa się z 52 tygodni i jednego dnia. W roku 1884 towarzystwo astronomiczne paryskie ogłosiło konkurs na projekt najdogodniejszej poprawy kalendarza, a nagrodę uzyskał projekt, którego główna zasada polega na tem, by dzień nowego roku wyłączyć z tygodni i miesięcy. Dzień ten nie należałby do żadnego tygodnia ani do żadnego miesiąca, pozostała więc liczba 364 dni stanowiłaby okrągło 52 tygodni, a dnie tygodnia, daty miesięcy i roku mogłyby każdego roku w jednakowy sposób być ze sobą związane; kalendarz przeto raz ułożony służyłby na wszystkie lata. W roku przestępnym «nowy rok» byłby przez dwa dni obchodzonym. Wprowadzenie stałego i wieczystego kalendarza przedstawiałoby pewną korzyść, urzeczywistnienie wszakże takiej zmiany połączone jest ze zbyt wielu trudnościami.

ROZDZIAŁ VI.

OZNACZANIE POŁOŻENIA MIEJSC NA ZIEMI.

40) Szerokość i długość geograficzna.

Podobnie, jak wszelkie pomiary ziemi, tak też oznaczanie położenia jej punktów jest w istocie rzeczy zadaniem astronomicznem; żeglarz lub podróżnik, gdy chcą wiedzieć dokładnie, gdzie się znajdują, muszą odwoływać się do obserwacyi nieba; geograf zaznaczyć może dany punkt na karcie dopiero, gdy drogą astronomiczną ocenił położenie jego na ziemi. Aby dogodnie i dokładnie wskazywać położenie miejsc na ziemi, posługują się od dawnych czasów geografowie metodą dobrze znaną i w geometryi. Geometryczna ta metoda polega na tem, że obieramy na płaszczyźnie dwie linie stałe i niezmienne XX i YY (fig. 48), zwykle względem siebie prostopadłe, i do linii tych odnosimy położenie innych punktów płaszczyzny. Tak np. punkt A jest zupełnie określony, jeżeli znamy odległość jego Am od linii YY i An od linii XX. Odległości te Am i An nazywają się *współrzędnemi* punktu A, linie XX i YY osiami współrzędnych. W szczególności odległość $Am = nO$ nazywa się *odciętą* i oznacza głoską x,



(Fig. 48).

odległość *An*=*mO* *rzędną* i oznacza głoską *y*. Jeżeli więc *Am*=4 (pewnym obranym jednostkom długości), *An*=3, w takim razie punkt *A* jest zupełnie określony przez związki $x=4$, $y=3$, co do położenia jego żadnej niema wątpliwości. Dla wyróżnienia zaś różnych okolic osi *XX* i *YY* zgodzono się odległości po prawej stronie osi *YY* i po górnej osi *XX* oznaczać znakiem $+$, odległości po lewej stronie osi *YY* i po dolnej osi *XX* znakiem $-$. Według tego punkt oznaczony współrzędnemi $x=-5$, $y=4$, będzie to punkt *B*; współrzędne punktu *C* są: $x=-2$, $y=-6$, punktu *D*: $x=7$, $y=-3$. Tak samo rozumiemy łatwo, że współrzędne punktu *m* są $x=0$, $y=3$, punktu *n*: $x=4$, $y=0$, punktu *O* (początku współrzędnych): $x=0$, $y=0$.

Aby więc też same zasady zastosować do miejsc na ziemi, należy na jej powierzchni obrać dwie linie stałe, jako osie współrzędnych. Ponieważ wszakże ziemia ma postać kuli, osie te będą okręgami kół wielkich, a jakby przez samą przyrodę wskazane są do tego celu: równik i pewien południk, obrany za «pierwszy». Każdy zatem punkt powierzchni ziemi będzie dokładnie oznaczony, gdy znać będziemy odległość jego od równika, czyli szerokość geograficzną, oraz odległość od pierwszego południka, czyli długość geograficzną. Odległości te nie podają się wszakże w milach lub innych jednostkach linijnych, ale w stopniach, te bowiem z dostrzeżeń astronomicznych bezpośrednio odczytać można. Nazwy długości i szerokości geograficznej pochodzą z czasów starożytnych i tłomaczą się tem, że obszar ziemi, w owych czasach znany, przedstawiał rozległość większą od wschodu ku zachodowi, aniżeli z południa ku północy; pierwszy zatem kierunek wydawał się jakby istotną długością, drugi szerokością ziemi.

Szerokość geograficzna zatem danego punktu jest to odległość tego punktu od równika, odczytywana w stopniach południka; szerokość geograficzna liczy się w obie strony od równika, od 0^0 do 90^0, jest zatem północna albo południowa. Punkty równika mają szerokość 0^0, bieguny 90^0.

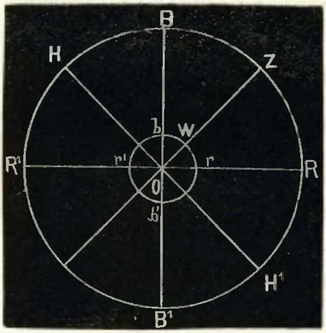
Długość geograficzna jest to odległość od południka, obranego za pierwszy, odczytywana w stopniach równika lub równoleżników, jak to objaśnia każda karta geograficzna. Długość liczy się bądź w jednę tylko stronę, od zachodu ku wschodowi dokoła ziemi, zatem od 0^0 do 360^0, albo też w obie strony południka pierwszego, od 0^0 do 180^0, i wtedy jest wschodnią lub zachodnią.

41) Oznaczanie szerokości geograficznej.

Szerokość geograficzną miejsca, w którem się znajdujemy, rozpoznać i ocenić możemy z położenia bieguna względem poziomu. Aby to zrozumieć, potrzeba tylko przypomnieć sobie, jak rozmaicie objawy obrotu dziennego ziemi przedstawiają się mieszkańcom różnych jej okolic (§ 22, 23, 24). Mieszkaniec równika (fig. 12) widzi biegun niebieski tuż w swoim poziomie; w tem zatem miejscu wysokość bieguna czyli wzniesienie jego nad poziom jest żadne, czyli $=0$. Szerokość zaś geograficzna punktów równika także jest $=0$, na równiku zatem szerokość geograficzna wyrównywa wysokości bieguna. Mieszkaniec bieguna (fig. 11) widzi natomiast biegun niebieski w swoim zenicie, wysokość jego wynosi tam 90^0; ale szerokość geograficzna bieguna także $=90^0$, i na biegunie zatem szerokość geograficzna równa się wysokości bieguna. Gdy więc przenosimy się z równika na biegun, czyli zmieniamy szerokość geograficzną o 90^0, wysokość bieguna niebieskiego powiększa się także o 90^0; wypada stąd, że gdy oddalamy się od równika o 1^0, 10^0, 30^0, biegun wznosi się również nad poziom o 1^0, 10^0, 30^0, czyli, że w każdem na ziemi miejscu szerokość geograficzna równa się wysokości bieguna.

Ważnej tej, zarówno dla astronomii jak i dla geografii, zasady wypada nam wszakże dowieść ściślej. Uważmy na ziemi punkt W (fig. 49), którego zenit jest Z, poziom (matematyczny) HH. Szerokością geograficzną tego punktu jest łuk Wr, albo

odpowiadający mu kąt *WOr*, który inaczej przeczytać możemy *ZOR*. Wysokością bieguna, czyli wzniesieniem bieguna nad poziom, dla tegoż punkt jest łuk *BH*, albo odpowiadający mu kąt *BOH*. Kąt $BOR = 90^0$, jako odległość bieguna od równika; podobnież i kąt $ZOH = 90^0$, jako odległość zenitu od poziomu, zatem kąt $BOR = ZOH$. Gdy od każdego z tych kątów wytrącimy wspólny im kąt *BOZ*, będą i reszty równe, t. j. kąt $ZOR = BOH$, dowiedliśmy zatem wogólności, że szerokość geograficzna miejsca równa się wysokości bieguna.



(Fig. 49).

Aby więc oznaczyć szerokość miejsca, w którem się znajdujemy, należy tylko wyszukać gwiazdy biegunowej i zmierzyć kątomiarem wyniesienie jej nad poziom. Postępowanie takie nie jest jeszcze dostatecznie ścisłem, gwiazda bowiem biegunowa nie przypada w samym biegunie. Zamiast więc bezpośrednio obserwować biegun, wziąć możemy pod uwagę jakąkolwiek gwiazdę blizką bieguna, zatem niezachodzącą. Gwiazdę tę widzieć możemy dwa razy przechodzącą przez południk, przy jej górowaniu i dołowaniu, czyli przy najwyższem i najniższem wzniesieniu nad poziom: gdy więc ocenimy wysokość jej w dwu tych położeniach, to średnia arytmetyczna obu tych oznaczeń da nam dokładną wysokość bieguna, w pierwszem bowiem z tych położeń gwiazda o tyleż się nad biegun wznosi, o ile się w położeniu drugiem pod biegun obniża. Objaśnia to zresztą fig. 13. Dajmy, że obserwujemy gwiazdę *G*, która przy obrocie dziennym nieba przechodzi przez południk w punktach *M* i *N*. Największe jej wzniesienie nad poziom mierzy łuk *MH*, najmniejsze łuk *NH;* widzimy zaś łatwo, że wysokość bieguna $BH = \frac{MH + NH}{2}$. — Można się

zresztą odwołać i do obserwacyi innych gwiazd, jeżeli położenie ich względem równika znamy z tablic astronomicznych. W Warszawie jest biegun wzniesiony nad poziom na $52^0\,13'\,32''$, taką jest też przeto szerokość geograficzna Warszawy.

42) Oznaczanie długości geograficznej.

Różnicę długości geograficznej dwu miejsc poznajemy z różnicy ich czasów. Zależność ta wypływa z rozumowania bardzo prostego. Przy obrocie swym dziennym ziemia zwraca kolejno różne swe strony ku słońcu, miejsca zatem, dalej ku wschodowi położone, wcześniej wschód gwiazdy dziennej witają, aniżeli okolice bardziej zachodnie. Dla miejscowości, na jednym i tym samym południku położonych, chwila południa przypada współcześnie, punkty natomiast wzdłuż równoleżnika rozrzucone mają godziny różne. Ponieważ w pozornym tym swoim ruchu słońce w ciągu doby, czyli 24 godzin, obiega cały okrąg o 360^0, co czyni 15^0 na godzinę, miejsca przeto, różniące się o 15^0 w długości geograficznej, mają czas o godzinę różny; gdy w Warszawie południe, w okolicach Moskwy już godzina pierwsza, na zachodniej granicy Francyi dopiero jedenasta. Oczywiście zresztą, zamiast słońca obserwować można bieg którejkolwiek gwiazdy, a w szczególności punktu równonocnego wiosennego; jak zatem czas słoneczny średni, tak też i czas gwiazdowy służyć może do oznaczania długości geograficznej.

Tak np. gdy w Wilnie jest południe czyli 12 godz. — min. — sek.
w Warszawie jest dopiero 11 „ 44 „ 23 „

różnica zatem czasów wynosi 15 min. 37 sek.

A że różnica 1 godziny czyli 60 minut w czasie odpowiada różnicy 15^0 w długości, zatem z proporcyi

$$60 \text{ min.} : 15 \text{ min. } 37 \text{ sek.} = 15^0 : x^0,$$

znajdujemy $x = 3^0\,54'\,14''$.

Ponieważ zaś Wilno, jak to wskazuje czas jego późniejszy, położone jest na wschód względem Warszawy, aby przeto

otrzymać długość jego względem pierwszego południka, idącego przez Ferro, trzeba do długości Warszawy względem tego południka dodać znalezioną tu różnicę:

Długość Warszawy względem Ferro . .	$38^0\ 41'\ 25''$
Różnica Wilna względem Warszawy . .	$3^0\ 54'\ 14''$
Zatem długość Wilna względem Ferro .	$42^0\ 35'\ 39''$

Gdy znów w Krakowie jest południe, w Warszawie jest już 12 godz. 4 min. 17 sek.; różnica zatem czasów wynosi:

4 min. 17 sek.; z proporcyi zaś:

60 min.: 4 min. 17 sek. $= 15^0 : x^0$

znajdujemy $x = 1^0\ 4'\ 15''$, jako różnicę długości między Warszawą a Krakowem; a że w tem ostatniem mieście czas jest wcześniejszy, jest ono względem Warszawy położone na zachód; aby więc dalej mieć długość Krakowa względem Ferro, należy różnicę tę odjąć od długości Warszawy względem tegoż południka:

Długość Warszawy względem Ferro	$38^0\ 41'\ 25''$
Różnica Krakowa względem Warszawy . . .	$1^0\ 4'\ 15''$
Zatem długość Krakowa względem Ferro . .	$37^0\ 37'\ 10''$

Różnicę więc czasów dwu miejsc zamienia się bardzo łatwo na różnicę długości geograficznej i nawzajem, pamiętając zwłaszcza, że 1 godzina odpowiada 15^0. Różnicy 1^0 w długości odpowiada różnica 4 minut w czasie, różnicy $1'$ w długości różnica 4 sekund w czasie. Jakkowiek wszakże rachunki powyższe są bardzo proste, dokładne oznaczenie długości geograficznej połączone jest z trudnościami znacznie większemi, aniżeli dochodzenie szerokości.

Aby bowiem oznaczyć długość geograficzną, trzeba znać godzinę w miejscu, gdzie się znajdujemy, i w miejscu drugiem, względem którego długość ocenić pragniemy. Pierwszą z tych godzin znajdujemy za pomocą znanych nam już metod astronomicznych (§ 36), ale większą trudność przedstawia znajomość czasu w miejscu oddalonem, lubo do tego celu posługiwać się możemy kilku metodami.

Metoda najprostsza polega na *przewożeniu zegarów.* Jeżeli nastawimy zegar starannie według czasu warszawskiego, zegar ten, dokądkolwiek przenoszony, wszędzie wskazywać będzie czas warszawski; jeżeli więc godzinę, przez zegar ten podaną, zestawimy z godziną miejsca, do którego przybywamy, różnica dozwoli nam oznaczyć długość geograficzną tego miejsca względem Warszawy. Rzecz jasna, że do tego celu służyć może jedynie wyborny chronometr, którego nadto znać potrzeba «chód dzienny», to jest wiedzieć dokładnie, o ile się śpieszy lub spóźnia, aby wszakże drogą tą otrzymać rezultat dostatecznie ścisły, trzeba chronometry przewozić kilkakrotnie z najzupełniejszą ostrożnością i starannością, a to właśnie stanowi trudność tej metody.

Inną metodę nastręczają *sygnały niebieskie*, t. j. zjawiska, zachodzące współcześnie dla różnych punktów ziemi, jak np. zaćmienia księżyca. Dajmy, że początek zaćmienia księżyca miał miejsce w Berlinie o 10 godz. 27 min. 36 sek. Jak poznamy, zjawisko to zachodzi jednocześnie dla wszystkich punktów ziemi, gdzie jest widzialne; jeżeli więc tenże sam początek miał miejsce dla Warszawy o 10 godz. 58 min. 8,5 sek., przeto czasy obu tych miast różnią się o 30 min. 32,5 sek., skąd znany nam rachunek wykazuje, że Warszawa leży względem Berlina na wschód o $7^0\ 38'\ 7{,}5''$. Stosowanie tej metody znajduje przeszkodę w trudności dokładnego uchwycenia początku, lub innej oznaczonej chwili przebiegu zaćmienia, gdy znów inne zjawiska, które również w różnych okolicach współcześnie mają miejsce, jak ukazywanie się gwiazd spadających lub kul ognistych, występują zbyt niespodzianie, by do oznaczenia długości korzystać z nich można było.—Jeżeli idzie o różnicę długości punktów niezbyt między sobą oddalonych, odległych nie więcej niż na jakie sto kilometrów, można też używać *sygnałów sztucznych*, polegających np. na nagłem zapalaniu prochu; metoda ta dawniej była rzeczywiście dosyć używaną, chociaż zastosowanie jej jest z natury rzeczy ograniczone, a gdy odległości stają się nieco znaczniejsze, trzeba

wprowadzać stanowiska pośrednie, co czyni ją zbyt uciążliwą.

Księżyc wszakże nietylko w czasie zaćmienia do oznaczania długości geograficznej służyć może, z biegu księżyca bowiem odczytać możemy godzinę w innej miejscowości, jeżeli posiadamy dokładne tablice jego biegu. Dajmy, że pewnego dnia o godzinie 9 żeglarz na morzu obserwuje, że księżyc oddalony jest od planety Jowisza o 36⁰; w kalendarzu zaś żeglarskim (Nautical Almanac), wydawanym przez obserwatoryum w Greenwich, znajdujemy, że według czasu tego ostatniego miejsca położenie takie księżyca względem Jowisza ma miejsce o godzinie 12. W tej zatem chwili, gdy w okolicy, gdzie się znajduje okręt, jest godzina 9, w Greenwich jest już 12, okręt zatem oddalony jest od o 45⁰ na zachód względem Greenwich.

Do powyższych metod przybyła w połowie bieżącego stulecia jedna jeszcze, od wszystkich poprzednich prostsza i dokładniejsza: metoda ta polega na zastosowaniu telegrafii elektrycznej, prąd bowiem elektryczny przesyła sygnały z szybkością nieledwie nieskończoną. By otrzymać np. długość Warszawy względem Paryża, potrzeba tylko, aby z tego ostatniego miasta zawiadomiono nas telegrafem, która tam w pewnej chwili jest godzina; wiadomość tę otrzymujemy w tejże chwili w Warszawie, i należy zestawić ją jedynie ze współczesną godziną warszawską, aby poznać różnicę czasów.

W rzeczywistości szybkość prądu elektrycznego, jakkolwiek bardzo znaczna, nie jest nieskończona i zależy od przewodnictwa materyałów, z których wyrobione są druty, a na prędkość przenoszenia wiadomości mają też wpływ przyrządy telegraficzne, dlatego i metoda elektryczna wydaje rezultaty ściśle jedynie przy starannem usunięciu wszelkich źródeł błędów.

Ścisłość jej mianowicie może być posuniętą tak daleko, że niepewność w oznaczaniu różnicy czasów nie przechodzi 0,02 sekundy czyli 0,3″ w łuku, co w mierze linijnej na równiku czyni około 10 metrów; w szerokościach naszych, gdzie południki silniej się ze sobą zbiegają, różnicy 0,02 sekundy od-

powiada długość mniejsza, około 7 do 8 metrów. Metody dawniejsze wydają rezultaty daleko mniej dokładne, a żeglarz, nie mogąc odwoływać się do usług telegrafu, oceniać jest w stanie różnicę czasów z niepewnością rzadko mniejszą nad 10 do 15 sekund, co na równiku czyni 5 do 7, a w szerokościach 50^0 około $3^1/_2$ do 5 kilometrów. Niepewność taka na morzu jest oczywiście bardzo niebezpieczną i stać się może przyczyną zagłady okrętu; dlatego to właśnie rząd angielski w wieku zeszłym, gdy sposoby dochodzenia długości geograficznej mniej jeszcze daleko były dokładne, wyznaczył nagrodę 20000 funtów szterlingów za ulepszenie metod wynajdywania długości na morzu. Połowę tej nagrody otrzymał, jak już wiemy, zegarmistrz Harrison za udoskonalenie chronometrów, drugą zaś połowę przyznano astronomowi T. Mayerowi i znakomitemu matematykowi Eulerowi za ulepszenie tablic księżyca. Jakkolwiek jednak księżyc jest dziś należycie skontrolowanym zegarem niebieskim, żeglarze chętniej odwołują się do istotnych swoich chronometrów, a przewożenie zegarów jest dotąd na okrętach najważniejszą metodą oznaczania długości geograficznej. Większa łatwość wynajdywania szerokości, aniżeli długości geograficznej, tłomaczy też, dlaczego pomiary równoleżników stanowią zadanie trudniejsze, aniżeli pomiary południków (§ 11).

43) Sprawa pierwszego południka i czasu powszechnego.

Niezależnie od przeszkód, z jakiemi walczyć musi oznaczanie długości geograficznej, pewien zamęt wprowadza też rozmaitość południków pierwszych. Gdy bowiem równik, który jest początkiem szerokości geograficznych, jest tylko jeden i przez samą przyrodę wskazany, południk każdy rościć sobie może jednakie do pierwszeństwa prawo, dlatego też co do jego obioru panuje pewna dowolność. Ptolemeusz umieścił swój

pierwszy południk o jeden stopień na zachód względem wysp Szczęśliwych *(insulae Fortunatae)*, to jest dzisiejszych wysp Kanaryjskich; był to niejako kres znanego wówczas świata, długości więc trzeba było stąd liczyć na wschód w jednę tylko stronę. Pisarze arabscy za punkt początkowy długości przyjmowali Słupy Herkulesa (dzisiejszy Gibraltar), geografowie średniowieczni już to wyspy Azorskie, już Kanaryjskie. Konieczność porozumienia pojmowano wszakże już dawno, skoro kardynał Richelieu zawezwał znakomitych matematyków, by zaprowadzili ład w obiorze pierwszego południka; kongres ten zebrał się w Paryżu w 1630 roku i uchwalił, że za początek długości przyjąć należy południk, idący przez wyspę Ferro, najbardziej zachodnią z wysp Kanaryjskich. Południk ten zatem przypadał bardzo blizko linii, od której już Ptolemeusz długości swe liczył, a zarazem oddzielał szczęśliwie świat dawny od nowego. Gdyby więc w epoce owej można było oznaczyć dokładnie różnicę długości geograficznej między wyspą Ferro a obserwatoryami lądu stałego, zadanie pierwszego południka byłoby rozstrzygniętem stanowczo; przy ówczesnym wszakże stanie przyrządów było to niepodobnem, dlatego też południk Ferro nie zyskał uznania powszechnego. Anglia nie przyjęła nigdy tego początku długości, astronomowie francuscy wkrótce go zarzucili, geografowie zaś, za radą Delisle'a, zastąpili go południkiem konwencyonalnym, przebiegającym o 20^0 na zachód względem Paryża. Południk ten, chociaż nazywa się zwykle południkiem Ferro, nie przechodzi przez tę wyspę, ale przypada między nią a sąsiednią wyspą Gomerą; gdy więc mówimy o południku Ferro, jako pierwszym, przyjmujemy właściwie za pierwszy południk paryski, oddalony od niego o 20^0. Na różnych kartach geograficznych oznaczony jest więc przez 0^0 bądź południk Ferro, bądź południk idący przez Paryż, bądź też przez Greenwich, oddalony od Ferro o $17^0\ 39'\ 50{,}6''$ na wschód, a od paryskiego o $2^0\ 20'\ 9{,}4''$ na zachód.

Jakkolwiek przechodzenie od jednego południka do innego nie przedstawia żadnej trudności, polega bowiem tylko na dodawaniu lub odejmowaniu, w ostatnich czasach poruszono znów projekt ustanowienia pierwszego południka, wspólnego dla wszystkich narodów, a w szczególności obradowała nad tem konferencya międzynarodowa, zebrana w Waszyngtonie w r. 1884, która wyraziła życzenie, aby geografowie obrali za pierwszy, południk idący przez Greenwich. Uchwała ta wszakże nie znalazła uznania powszechnego, a zwłaszcza nieprzychylnie przyjętą została we Francyi, gdzie odrzucenie zupełne południka paryskiego wzbudziło drażliwość narodową. Aby więc spór ten załagodzić, zaproponowano południk bardziej neutralny, któryby nie mógł budzić zawiści międzynarodowej, jak np. południk jerozolimski, albo południk, idący przez cieśninę Beringa.

Ostatni ten projekt wiąże się z osobliwym paradoksem, który występuje przy podróżach dokoła ziemi. Jeżeli mianowicie udajemy się na zachód, napotykamy miejsca, mające czas coraz wcześniejszy; zegar nasz zatem pośpieszy już o godzinę całą, gdy oddalimy się o piętnaście stopni, czyli na każdy stopień cztery minuty. Skoro przybędziemy do Nowego-Yorku z chronometrem londyńskim, to wskazywać on będzie południe, gdy w mieście tem jest dopiero godzina 7 rano, a jeżeli znajdziemy się dalej w San Francisco, napotkamy tam godzinę 4 rano, gdy znów chronometr nasz wskazuje południe. Gdybyśmy więc, jak to czynili pierwsi żeglarze dokoła świata, nastawiali swój zegar według miejsca, do którego przybywamy, to w miarę posuwania się ku zachodowi coraz więcej pozostawalibyśmy w tyle co do czasu, a przy całkowitem okrążeniu ziemi odstalibyśmy o całą dobę, czyli przy powrocie do własnego kraju znaleźlibyśmy tam datę o cały dzień późniejszą, tak, że pozornie utracilibyśmy dzień jeden; oczywiście, pozornie tylko, gdyż jadąc na zachód goniliśmy niejako za słońcem, a każdy dzień przebyty w podroży przedłużał się nam o tyle razy po cztery minuty, ileśmy stopni ku zachodowi przebyli, a zatem wszystkie

dnie razem były o jednę dobę dłuższe; przeżyliśmy czas jednaki, utraciliśmy tylko jeden zachód słońca. Przeciwnie, jeżeli się posuwamy ku wschodowi, naprzeciw słońca, każdy dzień staje się krótszym o tylokrotnie powtórzone cztery minuty, ileśmy w dniu tym stopni przebyli; przy całkowitem przeto okrążeniu ziemi zyskujemy jeden wschód słońca, czyli przybywa nam dzień jeden.

Cesarstwo rossyjskie i Azya wyprzedzają nas w czasie, Europa zachodnia, ocean Atlantycki i Ameryka opóźniają się względem nas; na oceanie Wielkim zatem istnieje granica, oddzielająca miejsca, gdzie przeskakuje data i dzień tygodnia; dwie przeto miejscowości sąsiednie, mające prawie jednaką godzinę, różnią się tam w swej rachubie czasu o jeden dzień tygodnia i o jeden dzień w dacie. Data i dzień tygodnia stron tamecznych zależą mianowicie od tego, czy kultura europejska doprowadzoną została od wschodu czy od zachodu; tak np. Portugalczycy i Holendrzy w swych odkryciach przepływali około Przylądka Dobrej Nadziei, gdy Hiszpanie obrali drogę przeciwną, około Ameryki południowej. Stąd wypada, że wyspy zajęte przez Hiszpanów opóźniają się w swej rachubie czasu o jeden dzień względem posiadłości portugalskich i holenderskich. Portugalska miejscowość Macao blizko wybrzeża chińskiego liczy o jeden dzień więcej niż wyspa Luzon, położona na wschód o pół godziny tylko różnicy co do długości. O tem przekonał się niegdyś z wielkiem zdumieniem ojciec Alfons Sanctius, który z Manilli udał się do Macao, gdzie według swego mniemania przybył jeszcze w dzień św. Atanazego 2 maja, przy wylądowaniu zaś poznał, że Portugalczycy obchodzili już dzień Znalezienia św. Krzyża 3 maja. Linia graniczna, oddzielająca miejsca, mające różne daty i różne dnie tygodnia, ma przebieg nieregularny. Poczynając od bieguna południowego, sunie na brzegu wschodnim Nowej Zelandyi, Hebryd, Nowej Gwinei, pozostawia Filipiny na wschód, Celebes, Borneo, Formozę i wyspy Japońskie na zachód i przez cieśninę Beringa dochodzi do bieguna północnego. Jeżeli na

wschód tej linii obchodzą niedzielę, to na zachód jej przypada już poniedziałek.

Rozmaitość czasów na różnych południkach stała się też przyczyną pewnego zamętu na drogach żelaznych. Gdy bowiem droga biegnie w kierunku wschodnio-zachodnim, krańcowe a nawet i pośrednie stacye mają często godziny różne, co zmusza podróżnych do baczenia na różnicę czasu miejscowego i czasu używanego na stacyi, a przy ożywionej komunikacyi kolejowej wpływa i na inne stosunki życia zwyczajnego. Niedogodność ta uczuć się dała zwłaszcza w Ameryce, na rozległych jej drogach, prowadzących od Atlantyku do oceanu Wielkiego, dlatego też powstał tam pomysł ujednostajnienia czasu na całej ziemi w ten sposób, aby wszędzie przyjęty był *czas powszechny,* a to według południka, idącego przez Greenwich.

Stronnicy takiej «godziny powszechnej» nie mogą, oczywiście, dążyć do usunięcia godziny miejscowej, przyjąwszy bowiem czas powszechny według południka Greenwich, Japończyk wstawałby około godziny ósmej wieczorem, a mieszkaniec Kalifornii obiadowałby około drugiej rano. Wykazują oni tylko, że dla pewnych potrzeb naukowych, jakoteż dla służby rozległych dróg komunikacyi, dla kolei żelaznych, dla linii okrętów parowych, dla telegrafów i poczt istnieje korzyść z przyjęcia godziny powszechnej obok godzin miejscowych, które musiałyby być dalej używane w życiu zwyczajnem.

Projekt czasu powszechnego był już przedmiotem różnych obrad międzynarodowych, trudno jednak rokować, czy urzeczywistnionym zostanie. Natomiast w niektórych krajach przyjęto godzinę narodową, t. j. jednę dla całego obszaru kraju. Tak np. w Wielkiej Brytanii już od roku 1848 używaną jest wszędzie godzina obserwatoryum w Greenwich. W państwach wszakże większej rozległości jedna godzina wspólna dla całego terytoryum byłaby niemożliwą; tak np. w Stanach Zjednoczonych jest w użyciu pięć różnych godzin normalnych, odpowiadających tyluż południkom, zostającym w prostej łączności z po-

łudnikiem Greenwich, a mianowicie odległym od niego o 60°, 75°, 90°, 105° i 120°. Czasy te zatem opóźniają się względem Greenwich o 4, 5, 6, 7 i 8 godzin. Według tego systemu amerykańskiego daje się najłatwiej jeszcze unormować czas na całej ziemi, a system ten coraz się bardziej rozpowszechnia. Powierzchnia ziemi dzieli się na 24 pasy czyli wrzeciona, ograniczone południkami i obejmujące po 15° długości, z których każde ma właściwy sobie czas, a w dwu sąsiadujących ze sobą wrzecionach różnica czasu wynosi godzinę. Granice czasów mogłyby zresztą odstępować nieco od południków, stosując się do granic państw lub prowincyi; wprowadzenie tej zmiany wymaga, by wszędzie wyrzeczono się godziny lokalnej lub przyjętego czasu normalnego. Najsilniejszy opór napotyka system ten we Francyi, gdzie w całym kraju służy czas paryski.

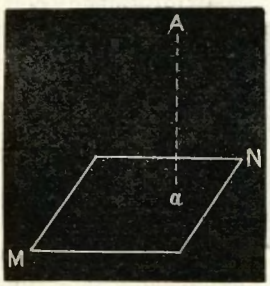
44) Karty geograficzne.

Znajomość szerokości i długości geograficznej danego punktu pozwala bezpośrednio oznaczyć położenie jego na karcie, z kolei zatem rzeczy wypada nam teraz poznać metody kreślenia kart czyli map geograficznych, to jest rysunków wykonanych na płaszczyznie, a przedstawiających część jakąkolwiek powierzchni ziemi. Zadanie to byłoby łatwe, gdyby powierzchnia kuli była rozwijalną, to jest, gdyby się dała, bez rozdarcia lub sfałdowania, rozciągnąć na płaszczyznę, jak to uczynić możemy, dajmy, z powierzchnią walcową albo stożkową; co do kuli jest to rzecz niemożebna, płaszczyzna w jednym tylko punkcie do powierzchni jej przystaje i wokoło tego punktu styczności coraz się dalej od niej usuwa; skórki pomarańczy spłaszczyć nie zdołamy, jeżeli jej nie rozerwiemy lub nie sfałdujemy. Na kuli o danym promieniu można oczywiście nakreślić zmniejszony obraz pewnej części powierzchni ziemi i oddać na nim zarysy lądów, oraz inne szczegóły; skoro wszakże obraz ten przenieść zechcemy na papier, powstaje konieczność

przeobrażenia go w pewien sposób. Rysunek taki nigdy przeto do oryginału zupełnie podobnym być nie może, a sztuka kreślenia kart geograficznych dąży do tego, by nieuniknione te odstępstwa, odpowiednio do celu zamierzonego, były jak najmniejszej wagi. Trudności mogą się wydawać nawet większemi jeszcze, ziemia bowiem nie posiada postaci zupełnie kulistej; spłaszczenie jej jednak jest do tyla drobnem, że nie wpływa na kartę, dopóki skala nie przechodzi stosunku 1:100000, używanego w kartach szczegółowych, topograficznych; tem mniejszego, oczywiście, znaczenia być muszą dalsze, drugorzędne odstępstwa ziemi od formy prawidłowej sferoidy czyli właściwe jej anomalie geoidalne.

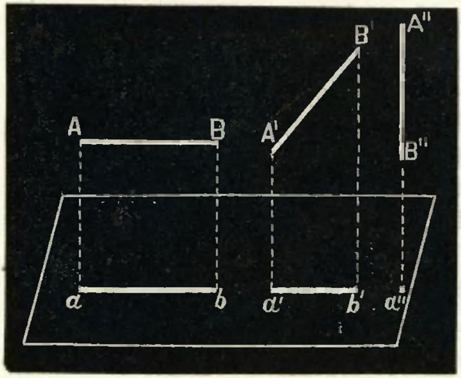
Przy rysowaniu jakiegokolwiek przedmiotu obieramy pewien rzeczywisty lub urojony tylko punkt widzenia, ku któremu zbiegają promienie, wysyłane przez różne punkty danego przedmiotu. Jeżeli przedmiotem tym, który na płaszczyźnie odrysować mamy, jest ziemia, to, zależnie od przypuszczalnego stanowiska rysownika, wypadają rozmaitego rodzaju karty, to jest różne *rzuty* czyli *projekcye* powierzchni ziemi na płaszczyznę.

Rzuty ortograficzne. Jeżeli z punktu *A* (fig. 50) wyprowadzimy prostopadłą do płaszczyzny *MN*, to spodek tej prostopadłej jest *rzutem ortograficznym*, albo poprostu *rzutem* punktu *A* na tę płaszczyznę *MN*, która nazywa się *płaszczyzną rzutów*. Rzutem linii prostej na płaszczyznę jest linia prosta, łącząca rzuty końców linii danej. Jeżeli linia prosta *AB* (fig. 51) jest do płaszczyzny równoległa, rzuca się na nią w istotnej swej wielkości, czyli rzut jej *ab* jest jej równy; w każdem innem położeniu linii *A'B'* rzut jej *a'b'* jest od niej krótszy, aż wreszcie, gdy linia *A''B''* jest do płaszczyzny prostopadła, rzut przechodzi w jeden tylko punkt *a'*!



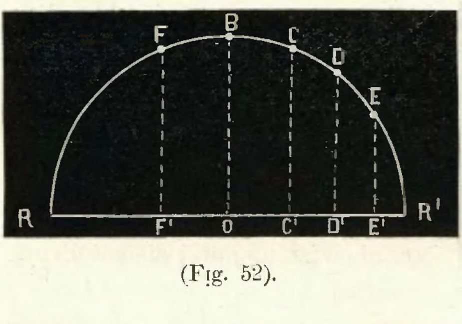
(Fig. 50).

Jeżeli wyobrazimy sobie obserwatora, umieszczonego w niesłychanej od ziemi odległości, wtedy powierzchnia zwróconej ku niemu półkuli wyda mu się kręgiem płaskim, w ten sposób, jak nam przedstawia się księżyc; dokładniej mówiąc, będzie on widział wszystkie punkty powierzchni ziemi rzucone na płaszczyznę, przez jej środek przechodzącą. Jeżeli w szczególności punkt widzenia obierzemy na przedłużeniu osi ziemskiej, powierzchnia widzianej półkuli przedstawia się w rzucie na płaszczyznę równika, a karty tego rodzaju, wyobrażające obie półkule, północną i południową, w postaci *planiglobów*, znajdują się we wszystkich atlasach.



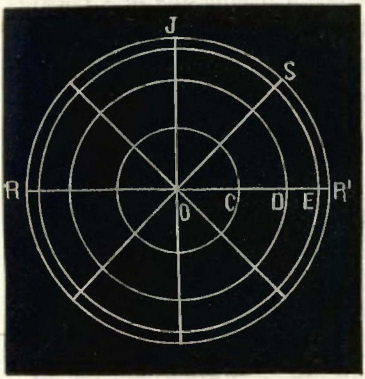
(Fig, 51).

Fig. 52 przedstawia przecięcie północnej półkuli ziemi. Poznajemy łatwo, że oko, umieszczone w odległości niezniernie wielkiej ponad biegunem *B*, dostrzeże go w punkcie *O*, a podobnież i wszystkie inne punkty południka *C, D, E*, ukażą się oku temu jako rzucone ortograficznie w punktach *C'D'E'* na średnicę równika *RR'*, rzutem więc południka *RBR'* będzie średnica *RR'*. Rzuty zaś wszystkich punktów *C,F*, należących do jednego równoleżnika na powierzchni ziemi, w jednakiej zatem od-



(Fig. 52).

ległości od bieguna przypadających, znajdą się na płaszczyznie równika w jednakiej również odległości od środka *O;* rzutami zatem równoleżników na płaszczyznę równika będą równe im okręgi kół, mające środek wspólny w punkcie *O.* Na nakreślonej tedy w ten sposób karcie półkuli północnej lub południowej (fig. 53) będą południki promieniami *OR, OS, OJ* i t. d., równoleżniki zaś okręgami współśrodkowemi *C, D, E.*



(Fig. 53).

Karta taka nie z jednakową wiernością oddaje wszystkie okolice powierzchni ziemi, co tłomaczy dostatecznie fig. 52. Okolice biegunowe oddane są w rzucie tym bardzo dokładnie, odstęp bowiem *OC'* jest prawie równy odległości *BC,* rzuty wszakże łuków *CD, DE, ER'* są coraz krótsze, okolice zatem sąsiadujące z równikiem są silnie skupione w kierunku promieni, zachowując właściwe wymiary w kierunku okręgu, co sprowadza znaczne przeinaczenie istotnych ich zarysów. Dla tego też planigloby te pożyteczne są głównie dla wyobrażania krajów podbiegunowych.

Jeżeli punkt widzenia umieścimy na przedłużeniu jednego z promieni równika, wtedy płaszczyzną rzutu będzie południk, do promienia tego prostopadły; obrawszy więc odpowiedni południk, otrzymamy w rzucie ortograficznym kartę półkuli wschodniej i zachodniej. Sieć południków i równoleżników przedstawi się tu inaczej, aniżeli w przypadku poprzedzającym, — południki mianowicie będą tu elipsami, a równoleżniki liniami prostemi, między sobą równoległemi; podobnie wszakże, jak poprzednio, części środkowe karty dają wierne wyobrażenie

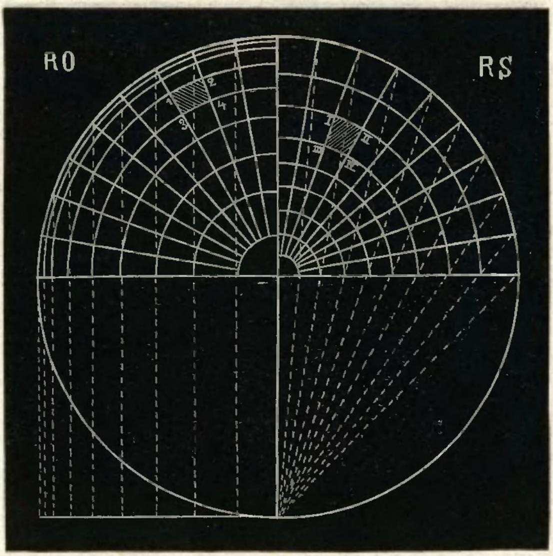
odpowiednich okolic ziemi, błędne natomiast są brzeżne częśc karty.

Można też, oczywiście, punkt widzenia obrać gdziekolwiek w przestrzeni, a wtedy półkula widziana rzucać się będzie na odpowiednią płaszczyznę, przez środek ziemi poprowadzoną, czyli na pewien poziom. W rzucie takim i równoleżniki i południki są liniami krzywemi, biegun zaś przypada w pewnym punkcie tej karty, zależnym od tego, gdzie znajduje się obrany punkt widzenia. Karty wszakże takie rzadko są używane.

Rzuty ortograficzne znane już były starożytnym, a obmyślone podobno zostały przez sławnego matematyka, Apoloniusza z Pergi, żyjącego między 300 a 200 rokiem przed narodzeniem Chrystusa. Obecnie w rzutach tych kreślą się karty ciał niebieskich, księżyca mianowicie, z powodu bowiem swej odległości bryły te same przedstawiają się nam ortograficznie.

Rzuty stereograficzne. Jeżeli wyobrazimy sobie ziemię jako kulę przezroczystą i ze środka półkuli jednej rozpatrywać będziemy drugą, otrzymamy rzut zwany stereograficznym, którego wynalazek przypisuje się Hipparchowi; płaszczyzną rysunku jest tu płaszczyzna styczna do kuli ziemskiej w punkcie przeciwległym punktowi widzenia, albo jakakolwiek inna, do niej równoległa. Rzut stereograficzny może być biegunowym i równikowym, stosownie do tego, czy oko obserwatora umieszczone jest w jednym z biegunów, czy też na końcu którejkolwiek średnicy równikowej; w pierwszym razie płaszczyzną rzutu jest równik, w drugim odpowiedni południk. Fig. 54 przedstawia oba rzuty biegunowe, ortograficzny i stereograficzny, tak zestawione, by je łatwo porównać można było. Rzut ortograficzny *RO* nakreślony jest w górnej ćwiartce lewej, stereograficzny zaś *RS* w górnej prawej; linie kropkowane oznaczają kierunki widzenia, które tedy w pierwszym razie, jako wybiegające z odległości nieskończonej, są równoległe między sobą, w drugim zaś rozchodzą się z obranego punktu widzenia *G*. Zarówno w jednym jak i w drugim razie są południki oddane przez linie proste, promienisto się rozbiegające,

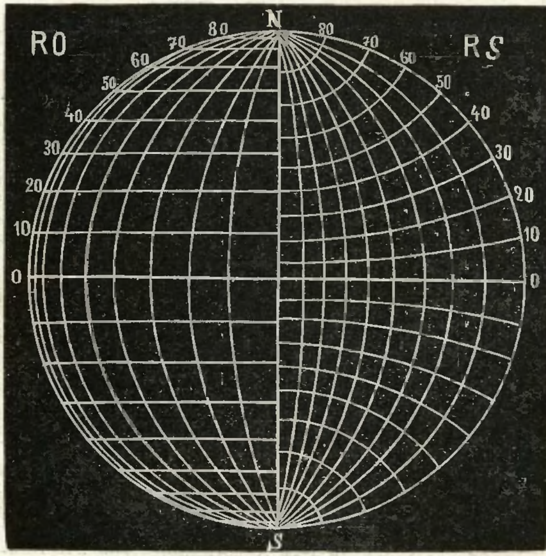
a równoleżniki przez okręgi kół, rozkład wszakże tej sieci bardzo jest różny; w pierwszym, jak wiemy już, równoleżniki skupiają się coraz bardziej ku równikowi, w drugim natomiast odległości między niemi powiększają się. Odstępstwa okazują się zwłaszcza wyraźnie, jeżeli porównamy trapezy na rysunku zacieniowane, 1. 2. 4. 3 i I. II. IV. III, które w obu rzutach obejmują tenże sam obszar powierzchni ziemi.



(Fig. 54).

Podobnież przedstawia fig. 55 oba rzuty równikowe, ortograficzny *RO* po stronie lewej i stereograficzny *RS* po stronie prawej; w rzucie pierwszym są równoleżniki liniami prostemi, a południki elipsami, w drugim zaś jedne i drugie linie są okręgami kół. Okolice po brzegach karty są w rzucie ortograficznym stłoczone, w stereograficznym zaś występują w silnem, mniej więcej czterokrotnem powiększeniu. Metoda wszakże stereograficzna przedstawia tę zaletę, że każdy okrąg na ziemi rzuca się na płaszczyznę rysunku również jako okrąg lub jako

łuk koła, który staje się linią prostą, gdy płaszczyzna koła przechodzi przez punkt widzenia; nadto zaś, co ważniejsza, południki i równoleżniki na karcie, tak jak i na ziemi, przecinają się pod kątami prostemi. Stąd to w rzucie stereograficznym zarysy lądów nie ulegają przeinaczeniu, i dlatego też w atlasach wyobrażenie półkuli wschodniej i zachodniej w tej formie jest podawane.



(Fig. 55).

Można też punkt widzenia umieścić w któremkolwiek miejscu powierzchni kuli ziemskiej, a tem samem otrzymać w rzucie stereograficznym rysunek półkuli, dowolnie obranym południkiem odciętej; w ten sposób znajdujemy w atlasach nakreślone karty półkuli przeważnie lądowej i przeważnie oceanicznej. Rzut stereograficzny tem się nadto jeszcze od ortograficznego różni, że dozwala on nawet granice półkuli przekroczyć, gdy przy pierwszym jest to rzeczą niemożebną, co łatwo pojmujemy, gdy mamy na uwadze różne położenie oka obser-

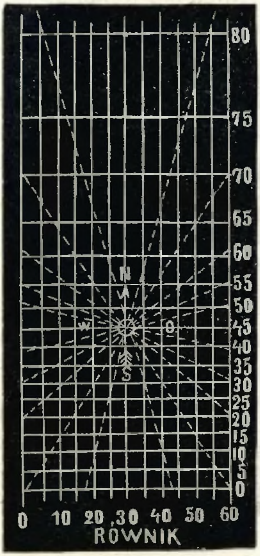
watora w jednym i drugim razie. Jeżeli wszakże karta obejmuje obszar przechodzący granice półkuli, rozległość okolic skrajnych ulega znacznemu powiększeniu.

Rzuty centralne. Jeżeli wreszcie oko umieścimy w środku ziemi, a powierzchnię jej odniesiemy do jakiejkolwiek płaszczyzny stycznej, otrzymamy rzut *centralny* czyli *gnomoniczny,* używany już może przez Talesa. W ten sposób przenieść można powierzchnię ziemi na ściany opisanego sześcianu, ośmiościanu lub dwunastościanu foremnego i złożyć stąd globus wielościenny. Najdokładniej przedstawiają się w rzucie centralnym okolice przypadające wpośrodku karty, w miarę wszakże odległości od jej środka, wymiary krajów powiększają się tu znaczniej daleko, aniżeli w rzucie poprzedzającym, pomimo to karty te odpowiadają pewnym celom; zalecali je zwłaszcza niektórzy geologowie dlatego, że granice w ten sposób przedstawionych części ziemi mogłyby biedz zgodnie z głównemi pasmami górskiemi. Często również przedstawiają się w rzucie centralnym karty nieba, jakkolwiek, co łatwo pojmujemy, pełnej półkuli tą drogą na jednej karcie naraz ująć nie można. Koła wielkie na kuli, zatem wszystkie południki, przedstawiają się w rzucie centralnym jako linie proste; równoleżniki natomiast oddają się przez okręgi kół, elipsy, parabole lub hyperbole, a to zależnie od tego, w jakim kierunku styczna do kuli płaszczyzna rysunku przecina stożek złożony z promieni widzenia, ze środka kuli wybiegających.

Powyższe trzy rodzaje rzutów, które rozważaliśmy dotąd, nazywają się razem *rzutami perspektywicznemi* i używają głównie, gdy idzie o przedstawienie pełnej półkuli ziemi albo przynajmniej znacznej jej części; dla przenoszenia wszakże na kartę okolic mniej rozległych, obmyślono rzuty inne, już nie perspektywiczne, nie odnoszące się do żadnego punktu widzenia; dają więc one obrazy powierzchni ziemi takie, jakieby w rzeczywistości z żadnego stanowiska widziane nie były. Z mnóstwa tego rodzaju kart przytoczymy tylko najważniejsze i najwięcej używane.

Rzut Mercatora. Na udoskonalenie kart geograficznych w czasach nowszych wpłynęły zwłaszcza potrzeby rozwijającej się coraz bardziej żeglugi. Od czternastego już wprawdzie stulecia posiadali żeglarze karty wybrzeży morskich, ułatwiające im korzystanie z igły magnesowej, były to wszakże karty bardzo jeszcze niedołężne. — Rozwój kartografii nowszej rozpoczyna się dopiero w połowie wieku szesnastego, gdy Holender Gerhard Kremer, który się z łacińska nazwał Mercator, zapowiedział w liście do kardynała Granvella w r. 1546, że zajmie się rozpatrzeniem braków, jakich żegluga doznaje, i postara się im zaradzić. Dotrzymał słowa, w roku 1569 bowiem ogłosił swą kartę żeglarską, która dotąd typ kart morskich stanowi. Rzut Mercatora pojmować można jako pewnego rodzaju przeniesienie powierzchni ziemi na powierzchnię walca, który jest powierzchnią rozwijalną, daje się zatem na płaszczyznę rozłożyć. Wyobraźmy sobie kulę ziemską otoczoną stycznym do niej walcem, który jej dotyka tedy wzdłuż równika, i przesuńmy płaszczyzny zarówno przez południki jak i równoleżniki; szereg pierwszych tych płaszczyzn przetnie oczywiście powierzchnię walca liniami prostemi, drugi zaś okręgami kół, gdy wszakże walec wzdłuż przetniemy i na płaszczyznę rozwiniemy, okręgi te również przejdą na linie proste, a stąd na karcie takiej południki i równoleżniki przedstawione będą przez dwa układy linii prostych, wzajemnie do siebie prostopadłych. Na kuli wszakże południki zbiegają się w biegunach, gdy na karcie pozostają równoległemi, skąd skala równoleżników tem bardziej się powiększa, im bardziej oddalamy się od równika na północ lub na południe. Spowodowałoby to znaczne przekształcenie zarysu krajów i pozbawiłoby je wszystkiego podobieństwa do form istotnych; dla zaradzenia więc temu w rzucie Mercatora, w miarę zbliżania się do biegunów, rozsuwają się i równoleżniki w tymże stosunku, w jakim rozchodzą się południki między sobą. Tak przygotowaną sieć południków i równoleżników dla karty Mercatora podaje fig. 56, która uczy wyraźnie, że dla różnych szerokości geograficznych służy na

karcie tej skala różna, tak dalece, że już pod 60° szerokości północnej lub południowej jest ona dwa razy większa, aniżeli pod równikiem. Stąd to pochodzi, że w rzucie Mercatora Szwecya i Norwegia wydają się tak wielkie jak cała Arabia, a Grenlandya mogłaby zakryć Afrykę. Porównanie z globusem karty takiej, która się w każdym atlasie znajduje, różnicę tę łatwo wykaże, przyczem wszakże poznajemy, że podobieństwo form ocalonem zostaje. Pochodzi to stąd, że w rzucie Mercatora w każdem miejscu południka zachowuje się tenże sam stosunek, co na kuli, szerokości do długości geograficznej, z tą tylko różnicą, że na kuli stopnie szerokości są między sobą równe, a stopnie długości maleją w miarę zbliżania się do biegunów, gdy na kartach Mercatora stopnie długości pozostają stateczne, stopnie zaś szerokości natomiast rosną.



(Fig. 56).

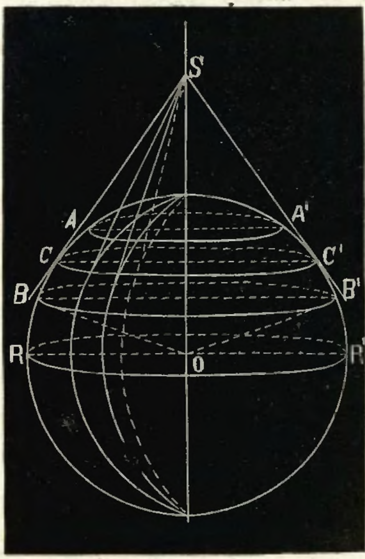
Rzut Mercatora różni się znacznie od innego rzutu walcowego, a mianowicie od centralnego rzutu walcowego. Ten ostatni otrzymujemy, jeżeli, wyobraziwszy sobie ziemię otoczoną walcem stycznym i spoglądając z jej środka, punkty jej powierzchni w kierunku promienia widzenia przenosimy. W rzucie tym sieć południków i równoleżników również jest z linii wzajemnie do siebie prostopadłych złożoną, a odstępy między równoleżnikami w miarę zbliżania się do biegunów także wzrastają, ale w stosunku odmiennym, chociaż sam biegun, jak w jednym, tak i w drugim razie, usuwa się do nieskończoności, a okolice z biegunami sąsiadujące na żadnej z obu tych kart przedstawione być nie mogą.

Zaletą szczególną rzutu Mercatora jest to, że dwie linie jakiekolwiek, na karcie tej nakreślone, przecinają się pod tymże samym kątem, co i przedstawiane przez nie dwie linie krzywe na kuli, a własność ta jest najwyższego znaczenia dla żeglarzy, tak dalece, że karty Mercatora są to właściwe karty morskie. Na morzu bowiem żeglarz w każdej chwili oznaczyć może łatwo kierunek południka w miejscu, gdzie się znajduje, a to dzięki swej busoli czyli igle magnesowej; aby więc należyty kierunek drogi w ciągu całej podróży utrzymać, winien się wciąż do południków odwoływać, bacząc, by kierunek ten z południkiem stateczny kąt tworzył. Otóż linia krzywa na powierzchni kuli, która wszystkie południki pod stałym kątem przecina, zwana linią *loksodromiczną* (to jest wprostbieżną), przeobraża się na karcie Mercatora w linię prostą, łączącą punkt wyjazdu z punktem, do którego okręt dąży. Mając więc linię tę z góry na karcie nakreśloną, sternik baczyć tylko winien, by kierunek biegu statku przerzynał południki wszystkie pod kątem wskazanym, odległości zaś oznaczać się dają na karcie wprost przez zastosowanie liniału i cyrkla. Linia wszakże loksodromiczna nie stanowi najkrótszej odległości dwu punktów na ziemi; jak na płaszczyznie bowiem linia prosta, tak na kuli najkrótszą drogę między dwoma punktami daje łuk koła wielkiego, przez punkty te przeprowadzonego. Za czasów naszych, gdy idzie o osiągnięcie jak największej szybkości żeglugi, byłoby pożądanem, by okręt sunął właśnie tą najkrótszą drogą, a udoskonalone środki nowoczesne rzecz tę czynią możliwą; do celu więc tego opracowano karty Mercatora, na których wskazane są najkrótsze odległości ważniejszych dróg morskich. Nie są to już na karcie linie proste, ale w ogólności mniej lub więcej skrzywione, a to zależnie od kierunku, w jakim biegną.

W rzucie Mercatora przedstawiają się też zwykle karty równikowego i zwierzyńcowego pasa nieba.

Rzuty stożkowe. Okolice, daleko od równika położone, na rzucie walcowym znacznemu ulegają przeobrażeniu, w takim razie wszakże zamiast walca odwołać się można do pomocy

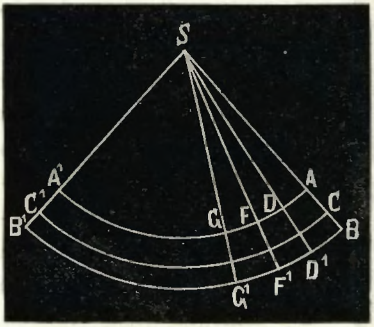
stożka czyli ostrokręgu, którego powierzchnia również jest rozwijalną, figura zatem dana, po przeniesieniu z kuli na powierzchnię stożkową, da się na płaszczyznę rozwinąć. Stożek ten dobrać należy oczywiście tak, by jak najściślej przystawał do ziemi w miejscu, które ma być na karcie oddane; gdy więc obszar dany przypada między równoleżnikami *AA'* i *BB'* (fig. 57), obejmujemy ziemię stożkiem, któryby do niej był stycznym wzdłuż równoleżnika pośredniego *CC'*. Jeżeli teraz płaszczyzny równoleżników i południków przedłużymy, przetną one powierzchnię stożka, pierwsze według okręgów kół, drugie według linii prostych, zbiegających się w wierzchołku stożka. Po rozwinięciu na płaszczyznę powierzchnia stożka przeobraża się w wycinek koła, co łatwo pojmujemy, odległości bowiem *SB, SB'* od wierzchołka do równoleżnika *BB'* są wszystkie równe między sobą; równoleżniki więc przedstawiają się jako łuki kołowe *AA', BB', CC'* zatoczone dokoła środka *S* (fig. 58), południki zaś, jako zbiegające się linie proste *DD'*, *FF'*, *GG'*. Będzie to więc karta utworzona z równoleżników krzywych i południków prostolinijnych, na której dana część powierzchni ziemi oddaną będzie ze znacznem przybliżeniem, w rozważanym bowiem pasie powierzchnia stożka nie wiele od powierzchni kuli odstępuje.



(Fig. 57).

Na karcie tej wszakże odstępy południków na różnych równoleżnikach nie zachodzą w stosunkach należytych; niedo-

godność tę usuwa *rzut Bonne'a* w ten sposób, że na każdym równoleżniku odcinają się stopnie długości w skali właściwej; w metodzie tej południki stają się liniami krzywemi, a zyskana korzyść okupuje się utratą kątów prostych w sieci południków i równoleżników; pomimo to karty tego rodzaju, o krzywych południkach i krzywych równoleżnikach, należą do najdokładniejszych, nawet przy wyobrażaniu rozległej części powierzchni ziemi, i w atlasach powszechnie je napotykamy. W razie, gdy przy przedstawieniu niezbyt rozległej przestrzeni ziemi znaczna ścisłość nie jest wymagana, poprzestać można na sieci, złożonej z prostolinijnych równoleżników zarówno jak i południków, przyczem pierwsze są liniami równoległemi i równooddalonemi między sobą, drugie zaś pochylają się ku sobie tak, że na równoleżnikach skrajnych karty stopnie długości są odcięte w należytej skali. Aby wadliwość sieci takiej usunąć, a przynajmniej w części zmniejszyć, zachowując dogodność równoleżników prostolinijnych, odciąć można na każdym z nich stopnie długości według skali, odpowiadającej każdemu stopniowi szerokości geograficznej, południki więc stają się liniami krzywemi, przez punkty podziału poprowadzonemi. Rzut taki o krzywych południkach i prostych równoleżnikach wprowadzony został przez Flamsteeda do kart niebieskich; co się tyczy kart ziemskich, rzut Flamsteeda jest najwłaściwszy, gdy równik kartę przecina, dla tego też jest powszechnie używany na mapach Afryki.



(Fig. 58).

Inne rzuty. Karty, o których mówiliśmy dotąd, mają na celu wogólności oddanie jak najwierniejsze konfiguracyi krajów; dla zadań wszakże statystyki potrzebne są karty, na

którychby równe co do powierzchni części ziemi przedstawione były także przez figury równoważne, choćby z uszczerbkiem podobieństwa. Kartę taką ziemi pod nazwą *homalograficznej* wygotował Babinet w 1857 roku. Południki przedstawione są tu przez elipsy, równoleżniki zaś przez linie proste, do osi tych elips prostopadłe. Można również, przez stosowne przekształcenie geometryczne, z każdego rysunku stereograficznego danej części ziemi otrzymać kartę w rzutach równoważnych; metodę tę podał Coatpont w roku 1877.

Jeżeli idzie o graficzne wyrażenie rozkładu magnetyzmu ziemskiego, lub też jakichkolwiek objawów meteorologicznych, pożądane są karty, całą powierzchnię ziemi obejmujące. Najczęściej używają się w takich razach karty Mercatora, odmawiają one wszakże swych usług dla okolic podbiegunowych; gdy więc tych ostatnich pominąć nie chcemy, odwołać się można do *kart gwiaździstych,* które polegają na tem wyobrażeniu, że na danej części globusu ziemskiego rozciągamy błonę sprężystą, a po przerysowaniu na niej krajów nią zakrytych, przywracamy płaską jej formę. Postać krajów będzie wtedy oczywiście odmienną, aniżeli na kuli, a nadto różną, stosownie do rozmaitego wyprężenia błony. Metody tej użyć można do otrzymania karty całej półkuli północnej, naciągnąwszy na nią błonę okrągłą; jeżeli wtedy na półkulę południową globusa nałożymy jeszcze pewną liczbę błon trójkątnych tak, aby podstawami swemi dotykały równika, a wierzchołkami zbiegały się u bieguna południowego, to zakryjemy niemi półkulę południową. Na wycinki te przenieść można odpowiednie części półkuli południowej, a przywróciwszy im postać trójkątną, rozłożyć dokoła okrągłej karty, dającej półkulę północną; otrzymamy wtedy figurę gwiaździstą, która na jednej płaszczyźnie przedstawi nam całą powierzchnię ziemi. Półkula południowa jest tu wprawdzie porozrywana na części oddalone między sobą, można jednak pasy trójkątne dobrać w taki sposób, aby przypadające na półkuli południowej lądy jak najmniej były porozdzierane. Taką gwiaździstą kartę o ośmiu

wyrostkach trójkątnych wygotował Petermann, o pięciu Berghaus w roku 1879.

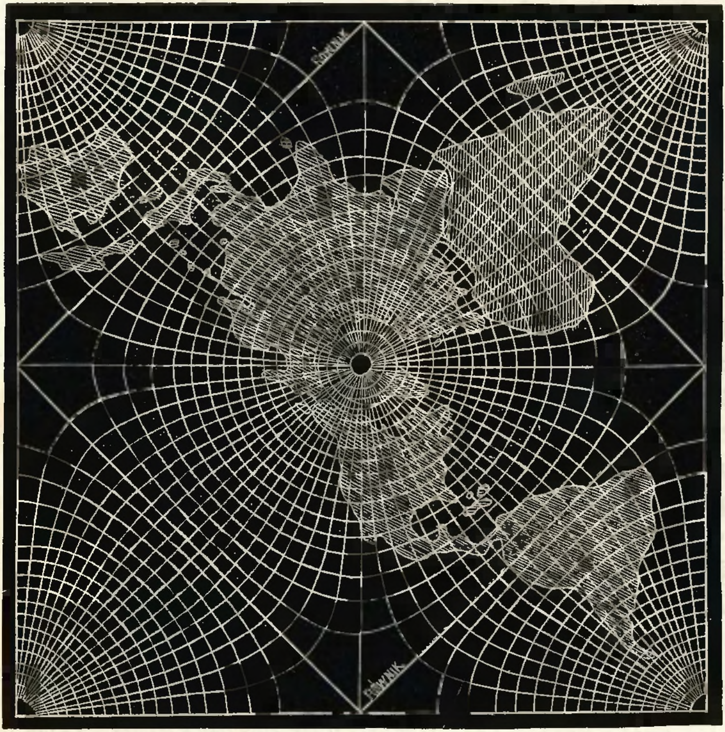
W każdym razie rozszarpanie półkuli południowej na oddzielne i rozsunięte części utrudnia uchwycenie ich związku, niedogodność tę wszakże usuwa pokrewna metoda Peirce'a. Polega ona na pewnem matematycznem przekształceniu zwykłego rzutu stereograficznego ziemi, które pozwala całą jej powierzchnię przedstawić w formie kwadratowej; zasadę tej metody uzmysławia zresztą fig. 59. Globus ziemski obciągnięty jest czterema kwadratowemi błonami sprężystemi, które po odzyskaniu postaci kwadratowej układają się w jeden kwadrat. Błona, rozciągnięta do obu biegunów globusa, powinna być i po brzegach tak jeszcze wyprężona, by pokryła czwartą część kuli,—obejmuje ona zatem ćwiartkę równika, która przypada na jej przekątni. W ten sposób przerysować można globus na błonę wyprężoną, poczem ściąga się ona znów do pierwotnej swej formy kwadratowej, a cztery tak przeniesione ćwiartki globusa złożyć można bądź ich biegunami południowemi, bądź północnemi (fig. 60). Na karcie tej równik stanowi kwadrat utworzony z czterech przekątni kwadratów częściowych; zachowane tu jest przecięcie prostokątne równoleżników z południkami, zarysy zaś lądów nie są zbyt przeinaczone. Sieć równoleżników i południków utworzona jest z linii krzywych, które odstępują



(Fig. 59).

znacznie od formy okręgów i elips, co stanowi ujemną stronę karty, ale też w częściach jej, zajętych przez lądy stałe, przebiegają one prawie prostolinijnie, co znów korzystnie za siecią tą przemawia.

Dodać zaledwie potrzeba, że różne powyższe metody przenoszenia powierzchni kuli na płaszczyznę wyrażają się



(Fig. 60).

związkami matematycznemi, które pozwalają odpowiednią sieć południków i równoleżników na karcie nakreślić; do różnych zresztą metod przygotowane są tablice, zawierające dane do rysunków takich potrzebne, co robotę znacznie ułatwia. Treściwie przedstawiony tu rys kartografii pozwoli przynajmniej czytelnikowi rozumieć dokładnie i zdać sobie sprawę z rozpatrywanej karty geograficznej.

ROZDZIAŁ VII.

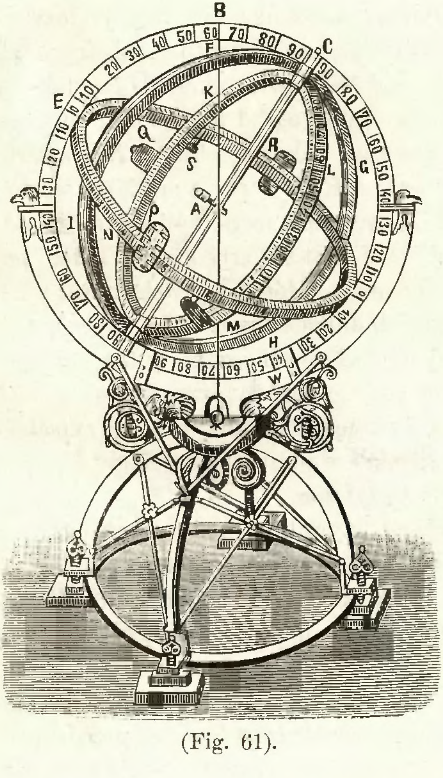
PRZYRZĄDY I ŚRODKI POMOCNICZE ASTRONOMII.

150) Przyrządy astronomów w czasach przedteleskopowych.

Ilekroć malarz na obrazie swoim przedstawić chce astronoma, uzbraja go zawsze w lunetę. Wyobrażamy sobie, że jedynie luneta jest symbolem astronoma, i że wszystek swój rozwój astronomia wyłącznie lunecie zawdzięcza. Nie chcemy tu bynajmniej znaczeniu lunety uwłaczać, przypominamy wszakże, czego nas już po części nauczyły rozdziały poprzednie, a co lepiej poznamy następnie, że astronomia istniała i wysoki już stopień rozkwitu osiągnęła, gdy jeszcze lunety nie było; nie mieli jej wielcy astronomowie starożytni, Hipparch i Ptolemeusz, nie posiadał jej Kopernik, lubo istotny układ świata wykrył i trwały fundament astronomii dzisiejszej położył; bez jej pomocy nawet wyczytał prawa ruchów planetarnych Kepler, chociaż teoretyczne zasady jej budowy wykrył. Luneta wzmaga potęgę wzroku naszego, odsłania szczegóły, które bez jej pomocy na zawsze pozostałyby dla nas utajone, ale w każdym razie służy tylko do patrzenia, badania zaś astronomiczne przedewszystkiem polegają na mierzeniu. Wcześniej, aniżeli jakakolwiek inna gałęź wiedzy, odwołała się astronomia do dokładnych pomiarów, i to było powodem, że rozwojem swoim wszelkie inne wyprzedziła nauki. Z dotychczasowych zaś rozważań naszych o ziemi, jako bryle niebieskiej, poznaliśmy, że w badaniach astronomicznych idzie głównie o mierzenie kątów, dlatego też kątomiar raczej, a nie lunetę, za właściwy symbol astronoma uważać należy. Jak wszelkie wynalazki, do-

skonaliły się i kątomiary astronomiczne stopniowo, a chcąc budowę dzisiejszych przyrządów rozumieć dobrze, poznać należy ich rozwój historyczny.

Najdawniejszy kątomiar przedstawia nam może gnomon (§ 36), dawał on bowiem możność oznaczania wysokości słońca, czyli wzniesienia jego nad poziom; do dokładnych zaś pomiarów położenia gwiazd na niebie służyła w starożytności *sfera armilarna* (fig. 61), co właściwie znaczy «kula obrączkowa». Była to kombinacya kilku kół, które mogły być ustawiane odpowiednio do zasadniczych kół sfery niebieskiej; stanowiła tedy jakby sieć przezroczystą globusa niebieskiego. Używał jej Hipparch, wynalezioną wszakże była już dawniej może przez astronomów chaldejskich; ostatnim zaś z astronomów, który się nią posługiwał, był Tycho Brahe, najbieglejszy z obserwatorów przedteleskopowych; jego to właśnie armilarną sferę przedstawia załączona rycina. *CD* jest to oś przyrządu, zwrócona ku gwieździe biegunowej, ustawiona zatem w kierunku osi świata. Koło *EBC*, przechodzące przez tę oś, umieszcza się w płaszczyznie południka miejsca obserwacyi; koło *RKN*, do



(Fig. 61).

osi prostopadłe, wyobraża równik, koło zaś *MLK* jest ruchome i opatrzone w dwie dioptry czyli przezierniki, *M* i *Q*, które po niem przesuwać się dają. Na środku osi osadzony jest nieruchomy przeziernik *A*. Do najwyższego punktu koła *EBC* przyczepiony jest sznurek z ciężarkiem, dający kierunek pionu i ułatwiający należyte ustawienie przyrządu. Aby tedy oznaczyć odległość danej gwiazdy od równika, albo raczej odczytać, na ile stopni jest ona od równika na sklepieniu niebieskiem oddalona, przesuwano jeden z dwu przezierników *M* i *Q* tak, by przez ten przeziernik i przeziernik stały *A* można było tę gwiazdę widzieć; wtedy, oczywiście, łuk na kole *MLK*, zawarty między kołem równikowem *RKN* a przeziernikiem ruchomym, dawał kąt żądany. Zarazem zaś na kole równikowem odczytać można było, od *K* do *E*, kąt zawarty między kołem południkowem a kołem ruchomem, który tedy wskazywał położenie gwiazdy względem południka. Przez te dwa kąty zatem położenie gwiazdy na niebie było wyznaczone w ten sam sposób, jak na ziemi miejsce danego punktu przez jego szerokość i długość geograficzną. Gdy koło główne przyrządu przypadało nie w płaszczyźnie równika, ale w płaszczyznie ekliptyki, sfera armilarna nazywała się *astrolabium*.

Astronomowie arabscy używali tychże samych przyrządów, starali się wszakże budować je w znacznych wymiarach, co pozwalało im odczytywać łuki z większą dokładnością; obmyślili wszakże i niektóre narzędzia nowe, zwłaszcza zaś «kwadranty i koła ścienne», które następnie przez Tychona Brahe znacznie udoskonalone zostały. Fig. 62, wzięta z dzieła tego astronoma «*Astronomiae instauratae mechanica*», przedstawia jego kwadrant ścienny (*Quadrans muralis*) i daje jasne pojęcie o budowie i użyciu tego przyrządu. *BC* jest to «kwadrant» czyli ćwiartka koła, podzielona na stopnie i opatrzona w ruchome przezierniki *D* i *E*, a osadzona na ścianie w płaszczyźnie południka; w środku zaś koła, zakreślonego przez ten kwadrant, na innej ścianie, przypadającej w kierunku wschodnio-zachodnim, znajduje się przeziernik stały *A*. Pomocnik *F* spogląda

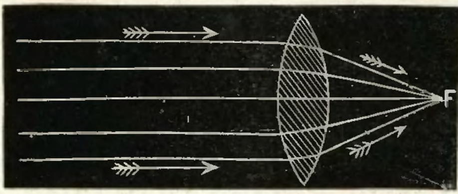
przez dioptry *E* i *A* na gwiazdę, pomocnik *H* odczytuje czas na zegarach *K* i *L*, pomocnik wreszcie *G* notuje ten czas i odczytaną na łuku wysokość gwiazdy. Tycho sam kieruje obserwacyami z miejsca wzniesionego, w głębi zaś dostrzegamy inne przyrządy. Rysunek ten daje wyobrażenie o urządzeniu obserwatoryów w czasach przedteleskopowych. Zamiast kwadrantów osadzono też były na ścianie całe koła. Za pomocą kwadrantów swoich osiągnął Tycho Brahe większą ścisłość dostrzeżeń, niż którykolwiek z jego poprzedników. Gdy obserwacye Ptolemeusza błędne są niekiedy o 10′, u Tychona rzadko napotykają się błędy 2′, czyli dorównywające $^1/_{15}$ części średnicy księżyca. W obecnych narzędziach astronomicznych nie budują się już koła tak wielkie, przy pomocy bowiem mikroskopów dają się i drobne podziały wyraźnie odczytywać, miejsce zaś dawnych przezierników zajęły lunety, których budową teraz się zajmiemy. Nadmieniamy wszakże, że teorya ich jest właściwie rzeczą fizyki, poprzestać więc musimy na ogółowych i zasadniczych tylko wiadomościach, które jednak do zrozumienia ich działalności wystarczą.



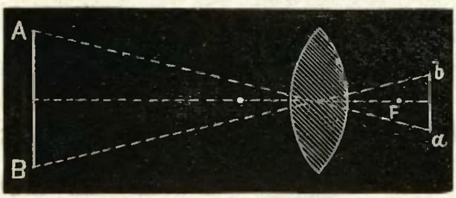
(Fig. 62).

46) Luneta.

Budowa lunet polega na zasadzie własności soczewek, czyli szkieł, mających powierzchnie krzywe, w szczególności zaś kuliste. Gdy na soczewkę wypukłą (fig. 63) padają promienie światła, biegnące równoległe do jej osi, przybywające zatem z odległości nieskończenie wielkiej, to w przebiegu przez nią ulegają one załamaniu tak, że zbierają się, czyli raczej przechodzą przez punkt *F*, zwany ogniskiem głównem soczewki. Jeżeli więc wystawiamy na promienie słoneczne taką soczewkę zbierającą, to na przegrodzie, umieszczonej w ognisku, rysuje się jasny punkt, stanowiący obraz rzeczywisty słońca. Gdy przedmiot do soczewki się zbliża, obraz się od niej oddala i zarazem powiększa; jeżeli więc przedmiot *AB* (fig. 64) znajduje się daleko od soczewki, w pobliżu ogniska tworzy się obraz jego *ba* zmniejszony i odwrócony. Obraz ten jest rzeczywisty, co znaczy, że rzeczywiście na przegrodzie się rysuje i może być widziany przez wszystkich, którzy na tę przegrodę spoglądają. Właściwie i obraz słońca nie jest jednym tylko punktem, ale raczej kółkiem drobnem, co pochodzi po części stąd, że słońce, jakkolwiek dalekie, nie przypada wszakże w odległości nieskończenie wielkiej, silniej wszakże wpływa na to pewna wadli-



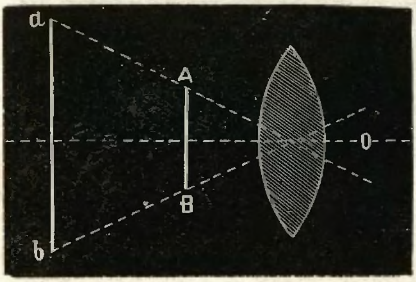
(Fig. 63).



(Fig. 64).

wość soczewki, od samej jej postaci nieodłączna, zwana aberacyą sferyczną czyli aberacyą kulistości, a która sprawia, że promienie z jednego nawet punktu wychodzące, po przejściu przez soczewkę, niezupełnie się w jednym punkcie skupiają.

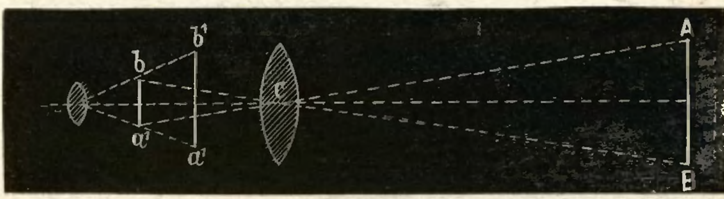
Przy dalszem jeszcze zbliżaniu się przedmiotu do soczewki obraz coraz się bardziej powiększa, a zarazem coraz dalej i coraz prędzej się usuwa, tak, że gdy przedmiot przypada w ognisku soczewki, niesłychanie wielki obraz jego oddala się do nieskończoności, czyli niknie zupełnie, a co właściwie znaczy, że wtedy promienie, po przejściu przez soczewkę, schodzą się dopiero w oddaleniu niesłychanie wielkiem. Gdy zaś promienie rozchodzą się z punktu znajdującego się już bliżej soczewki, aniżeli jej ognisko, wtedy po przejściu przez soczewkę stają się jeszcze silniej rozbieżnemi i nieskupiają się dla utworzenia obrazu. Przedmiot zatem *AB* (fig. 65) znajdujący się w sąsiedztwie ogniska, ale od strony soczewki, nie wywoła już obrazu rzeczywistego; natomiast zaś oku 0, znajdującemu się poza soczewką, wydawać się będzie, że promienie, rozchodzące się z punktów *A* i *B*, wybiegają z punktów *a* i *b*, widzi ono zatem obraz *ab* przedmiotu, powiększony i nieodwrócony. Jestto obraz urojony, jak w zwykłych, płaskich zwierciadłach,— dostrzega je bowiem jedynie oko, przez soczewkę na przedmiot spoglądające. W warunkach takich soczewka wypukła działa jako szkło powiększające czyli lupa.



(Fig. 65).

Luneta astronomiczna jest kombinacyą dwu przypadków, przedstawionych na fig. 64 i 65. Składa się ona tedy w najprostszej swej postaci z dwu soczewek wypukłych, z których jedna, zwrócona w stronę przedmiotu, nazywa się *obje-*

ktywą albo *szkłem przedmiotowem,* druga zaś, zwrócona w stronę oka, *okularem* albo *szkłem ocznem.* Objektywa (fig. 66) w pobliżu ogniska swego F wydaje obraz rzeczywisty i odwrócony ba przedmiotu oddalonego AB, który oko obserwatora rozpatruje przez szkło oczne i dostrzega jego obraz urojony i powiększony $b'a'$. W lunecie więc astronomicznej widzimy obrazy przedmiotów odwrócone; ponieważ zaś obraz rzeczywisty ab, który jest przedmiotem dla soczewki ocznej, przypadać winien prawie w jej ognisku, długość zatem lunety tej wyrównywa sumie odległości ogniskowych obu soczewek, objektywy i okularu.



(Fig. 66).

Aby ocenić *powiększenie,* jakie daje luneta, uważmy, że wielkość pozorna przedmiotu danego, czyli wielkość, w jakiej się nam przedstawia, zależy od kąta, pod jakim go widzimy. Gdybyśmy przedmiot jakikolwiek, księżyc, dajmy, lub słońce, rozpatrywali z punktu O, albo, co z powodu odległości przedmiotu toż samo znaczy, z punktu C, widzielibyśmy go pod kątem ACB; luneta ukazuje go nam pod kątem $b'Oa'$, powiększenie zatem lunety wyraża się stosunkiem kątów $\frac{b'Oa'}{ACB'}$ albo, ponieważ kąt $b'Oa'=bOa$, a kąt $ACB=bCa$, stosunkiem kątów $\frac{bOA}{bCa}$. Oba te kąty są to kąty wierzchołkowe w dwu trójkątach bOa i bCa, mających podstawę wspólną, są zatem w ogólności tem mniejsze, im trójkąty bardziej są wydłużone, a pomijając ściślejsze wywody geometryczne, przyjąć możemy, że są od-

wrotnie proporcyonalne do ich wysokości, czyli do linii OF i CF, podstawa bowiem ta przechodzi prawie przez ognisko jednej i drugiej soczewki. Ostatecznie tedy miarą powiększania lunety jest stosunek $\frac{CF}{OF}=\frac{f}{f'}$, gdzie f oznacza odległość ogniskową objektywy, a f' odległość ogniskową okulara.

Jeżeli więc odległość ogniskowa danej lunety wynosi 1 metr czyli 100 centymetrów, a odległość ogniskowa okularu 1 centymetr, powiększenie jej wyraża się ułamkiem $^{100}/_{1}$, czyli luneta daje powiększenie 100-krotne. Jeżeli przy tejże samej objektywie użyjemy okularu o odległości ogniskowej $^{1}/_{2}$ cm., otrzymamy powiększenie 200-krotne, które wszakże osiągnąć też możemy, łącząc objektywę 2 m. z okularem 1 cm., gdyż $\frac{100}{^{1}/_{2}}=^{200}/_{1}=200$.

Wartość ułamku jest tem większa, im większym jest jego licznik, lub im mniejszym jest mianownik. Zdawałoby się przeto, że dobierając szkła oczne o bardzo małej odległości ogniskowej f', wzmagać można dowolnie powiększenie lunety; tak np., aby przy objektywie o odległości ogniskowej 1 m. otrzymać powiększenie 1000-krotne, należy ją zestawić z okularem o odległości ogniskowej $^{1}/_{10}$ cm. czyli 1 milimetra. Względy wszakże praktyczne nie dozwalają używać soczewek o zbyt drobnej odległości ogniskowej, dla różnych bowiem powodów wydawane przez nie obrazy nie są dosyć jasne i wyraźne; dlatego też potężne lunety posiadać muszą objektywy o wielkiej odległości ogniskowej, a tem tłomaczy się znaczna ich długość, wyrównywa ona bowiem, jak widzieliśmy już wyżej, sumie odległości ogniskowych objektywy i okularu.

O działalności lunet, a mianowicie o powiększeniach przez nie osiąganych, ogół ma często niejasno i przesadne bardzo pojęcie. Potęga lunet pewnej granicy przekraczać nie może, już dlatego, że, w miarę jak wzrasta powiększenie, przez szkło oczne powodowane, słabnie też jasność obrazu, jak w mikroskopach, światło bowiem wysyłane rozkłada się na większą

przestrzeń, a stąd też wypada, że okulary, dające znaczne powiększenie, stosowane być mogą jedynie do objektyw wielkich wymiarów, czyli znacznej średnicy.

Gdy bez lunety spoglądamy na punkt świecący, dostrzegamy go dlatego, że wysyłane przezeń promienie przedzierają się przez źrenicę i po załamaniu w oku tworzą na siatkówce obraz. Gdybyśmy więc dowolnie mogli źrenicę naszą rozszerzać, dopuszczalibyśmy do oka większą ilość promieni, a słabe gwiazdki, których nie dostrzegamy dla drobnych wymiarów naszej źrenicy, stawałaby się dla nas widoczne. Otóż, lunetę uważać możemy jako wielkie oko sztuczne, w którem objektywa jest wielką źrenicą zbierającą i doprowadzającą na siatkówkę znacznie większą ilość światła, aniżeli istotna oka naszego źrenica. Gwiazdy stałe znajdują się w tak znacznych od nas odległościach, że w najpotężniejszych nawet lunetach przedstawiają się nam zawsze jako punkty świecące, bez wyraźnej średnicy. Luneta więc nie sprowadza powiększania gwiazd stałych, jeżeli zaś dozwala nam dostrzegać drobne gwiazdki, oku nieuzbrojonemu niedostępne, zależy to przeważnie od wielkości objektywy czyli od otworu lunety. Gdy natomiast przedmiot obserwowany nie jest li tylko punktem świecącym, ale przedstawia pewną rozległość, jak planety lub mgławice, to pomimo wzmożonej ilości światła, przez objektywę doprowadzonej, jasność obrazu słabnie wraz z jego powiększeniem, a stąd przekroczenie pewnej granicy więcej już szkody, aniżeli korzyści sprawia. Tło nieba wydaje się też w ogólności w lunecie ciemniejszem, aniżeli oku nieuzbrojonemu, a z tego to właśnie powodu przy pomocy lunet dostrzegać możemy za dnia jaśniejsze przynajmniej gwiazdy, których widok oku nieuzbrojonemu blask dzienny nieba przytłumia.

I inne zresztą jeszcze przyczyny, od własności szkła i soczewek nieodłączne, kładą kres powiększaniu przez lunetę osiąganemu; najgroźniejszym wszakże nieprzyjacielem obserwacyi astronomicznych jest atmosfera nasza, zarówno z powodu niezupełnej swej przejrzystości, jak i z powodu ruchów drgają-

cych, którym powietrze ulega. Gdy podczas skwarnego dnia letniego spoglądamy na przedmiot daleki, wydaje się on nam drżącym, o zarysach chwiejnych; przyczyną tego drżenia jest ustawiczne mieszanie się rozgrzanych prądów, wzbijających się w górę, z wyższemi, chłodniejszemi warstwami powietrza, a niepokój ten powietrza jest zapewne także powodem drżenia czyli *migotania* gwiazd. W lunecie wraz z powiększeniem przedmiotu obserwowanego wzmaga się i to drżenie tak dalece, że podczas silnego migotania gwiazd nie można dokonywać obserwacyi przy znacznych powiększeniach. Gdy przy powiększeniu 500-krotnem nie występuje podobne zakłócenie czystości obrazów, astronomowie uważają noc taką za korzystną dla swych dostrzeżeń; noce zaś, w których możnaby korzystać z powiększenia 800-krotnego lub jeszcze znaczniejszego, dosyć się rzadko przytrafiają.

Dla usunięcia szkodliwego wpływu atmosfery zaczęto w ostatnich czasach budować obserwatorya astronomiczne w miejscach znacznie nad poziom morza wzniesionych, na górach, w powietrzu przejrzystszem, czyściejszem i spokojniejszem, gdzie przytoczone wyżej szkodliwe wpływy znacznie się ograniczają.

Jaki jest kres możebnych do osiągnięcia powiększeń, trudno to powiedzieć. Astronom amerykański, Newcomb, wyraża się o tem, jak następuje:

«Mówiono niekiedy, że William Herschel za pomocą wielkiego swego teleskopu otrzymywał powiększenia dochodzące do 6000, a w skutek tego widział księżyc tak, jakby się on znajdował w odległości 65 tylko kilometrów, średnia bowiem odległość księżyca wynosi 385000 km. Jeżeli istotnie powiększenie takie stosowane było do księżyca, to można wprawdzie przyjąć, że był on widziany w pozornej odległości 65 km., ale przedstawiał wtedy widok taki, jakby go Herschel rozpatrywał przez drobniutki otworek, o średnicy wynoszącej zaledwie kilka dziesiątych części milimetra, i nadto przez warstwę kilku centymetrów przepływającej wody, lub przez war-

stwę wielu kilometrów powietrza. Wątpić należy, czy kiedykolwiek księżyc przez teleskop był tak dobrze i wyraźnie widziany, jakby mógł być okiem nieuzbrojonem obserwowany z odległości 500 kilometrów; jeżeli zaś to miało miejsce, powiększenie nie przechodziło zapewne stosunku 1:1000».

Wynalazek lunety przypada na początek wieku XVII; jakkolwiek jednak dużo o tem pisano i spierano się, niepodobna rozstrzygnąć stanowczo, kto rzeczywiście pierwszy lunetę zbudował. Był nim w każdym razie jeden z trzech holenderskich szlifierzy okularów: Zacharyasz Jansen, Jakób Metius lub Jan Lippersheim (Laprey), a najprawdopodobniej ten ostatni. Według podania, dzieci jego przypadkowo ułożyły soczewki w rurce tak, że przez nie dostrzegły powiększonego koguta na wieży kościelnej i zdumione pokazały to ojcu, a ten ze spostrzeżenia ich umiał skorzystać. Niewątpliwe tylko, że luneta dobrze już znaną była w Holandyi w roku 1608, a w roku 1609 posiadał ją Galileusz. Bawiąc w Wenecyi, usłyszał o cudownym wynalazku holenderskim, a wróciwszy do Padwy, gdzie podówczas był profesorem, według zebranych wieści, przyrząd podobny zbudował. Galileusz nie jest wprawdzie tedy wynalazcą lunety, ale ją znacznie udoskonalił, gdy bowiem optycy holenderscy pięciokrotne zaledwie otrzymywać mogli powiększenia, osiągnął Galileusz powiększenie 30-krotne.

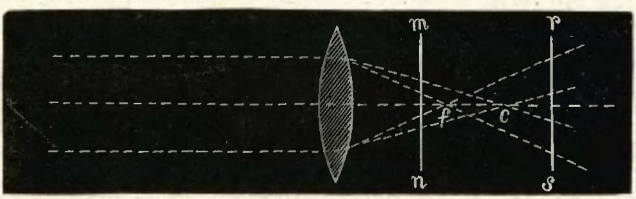
Istotna wszakże zasługa Galileusza na tem polega, że lunetę zwrócił ku niebu i do obserwacyi ciał niebieskich ją zastosował. Gdy pierwsi posiadacze lunet zadawalniali się drobną uciechą, że z wysokich wież rozglądać mogą dobrze okolicę otaczającą, a wynalazcy tę tylko w niej korzyść dostrzegali, że przydatną być może dowódcom do rozpatrywania wojsk nieprzyjacielskich, genialny umysł Galileusza ocenił natychmiast, że nowy ten przyrząd daje wzrokowi naszemu możność wydobycia się poza ciasne szranki ziemskie i przeniknięcia obszarów niebieskich. W rękach Galileusza stała się luneta z drobnej igraszki potężnym środkiem badań naukowych, a w krótkim czasie dostrzegł za jej pośrednictwem mnó-

stwo zdumiewających i niespodzianych szczegółów. Na księżycu zobaczył wysokie góry i głębokie kratery, a na słońcu ciemne plamy; odkrył odmiany Wenery i księżyce Jowisza, a droga mleczna, która oku nieuzbrojonemu jednolitą tylko, jaśniejącą wydaje się powłoką, ukazała mu się złożona z nieprzejrzanego mnóstwa gwiazdek drobnych.

Pierwsza ta wszakże luneta, zwana *lunetą holenderską* albo *lunetą Galileusza,* była słabym zaledwie przyrządem. Szkło jej przedmiotowe było soczewką wypukłą, ale szkło oczne soczewką wklęsłą; dotąd przetrwała ona jedynie, jako lornetka teatralna. Teoretyczne wyjaśnienie tej lunety podał Kepler (1611), ale zarazem zrozumiał, że korzystniejszą być może kombinacya dwu soczewek wypukłych i urządzenie lunety takiej opisał. Tym sposobem stał się Kepler wynalazcą lunety astronomicznej, chociaż sam jej nie zbudował i nigdy nie używał. Pierwszą zaś lunetę astronomiczną z dwu soczewek wypukłych złożył istotnie dopiero jezuita Scheiner około roku 1617. Od tego czasu luneta rozpowszechniła się szybko, następcy jednak Galileusza i Keplera w usiłowaniach swoich o jej udoskonalenie napotkali trudność, która się długo nieprzezwyciężoną wydawała. Trudność, o której teraz mówimy, wypływa stąd, że zwykłe, czyli białe światło nie jest światłem jednorodnem, ale składa się z promieni różnobarwnych, które pod względem fizycznym wyróżniają się rozmaitą zdolnością załamywania w przejściu z jednego środka przezroczystego do innego, z powietrza, dajmy, do szkła; promienie czerwone załamują się najsłabiej, fioletowe zaś najsilniej. Skutkiem tego wraz z załamaniem światła w soczewkach następuje też rozdział jego czyli rozszczepienie na barwy oddzielne. Każdy rodzaj promieni posiada inne ognisko czyli, po przejściu przez soczewkę, schodzi się w innym punkcie; ognisko silniej łamliwych promieni fioletowych przypada więc bliżej soczewki, aniżeli ognisko słabiej łamliwych promieni czerwonych, promienie zaś żółte, zielone, niebieskie schodzą się w punktach pośrednich. Na fig. 67, przedstawiającej wiązkę światła, pada-

jącą na soczewkę wypukłą, jest punkt *f* ogniskiem promieni fioletowych, *c* promieni czerwonych. Jeżeli tedy na drodze promieni ustawimy ekran w miejscu *mn*, otrzymamy na nim jasne kółko o brzegu żółtym i czerwonym; gdy zaś ekran ma położenie *rs*, kółko obwiedzione jest brzegiem niebieskim i fioletowym. Rzecz oczywista, że takie *zboczenie barwne* czyli *aberacya chromatyczna* uwłacza silnie czystości i jasności obrazów, wydawanych przez soczewki. Dopóki luneta daje powiększenie słabe, zakłócenie to nie jest jeszcze zbyt znaczne, wzmaga się wszakże przy powiększeniach silniejszych tak dalece, że obraz do obserwacyi dokładnej zgoła służyć nie może.

Przez czas długi zdawało się, że usunięcie tej wadliwości lunet zgoła jest niemożebne, sądzono bowiem, że zdolność roz-

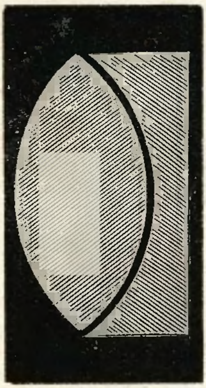


(Fig. 67).

szczepiania różnych substancyi przezroczystych jest proporcyonalna do ich zdolności załamywania, co znaczy, że substancya każda rozszczepia światło tem silniej, im je silniej załamuje, a w takim razie, gdyby chciano usunąć rozszczepianie, znosiłoby się zarazem i załamanie, niszczyłaby się zatem działalność soczewki. Łatwo wszakże wnieść możemy, że przypuszczenie to jest nieuzasadnione, w oku naszem bowiem promienie się załamują, a pomimo to na siatkówce rysują się obrazy niezabarwione; oko zatem stanowi układ bezbarwny czyli *achromatyczny*. Na okoliczność tę uwągę zwrócił w połowie XVIII stulecia znakomity matematyk Euler, a wniósłszy stąd, że przyjmowana poprzednio zależność między zdolnością załamania a zdolnością rozszczepiania bynajmniej nie zachodzi,

wykazał teoretycznie możność usunięcia zamącenia barwnego soczewek; wkrótce też potem, w roku 1758, optyk angielski Dollond zbudował rzeczywiście pierwszą lunetę achromatyczną.

Dollond poznał mianowicie, że dwa gatunki szkła, szkło zwyczajne czyli zwierciadlane, *crownglas,* i szkło kryształowe, zawierające ołów, *flintglas,* prawie jednakowo załamują światło, natomiast zaś zdolność rozszczepiania światła posiada flintglas przeszło dwa razy większą, aniżeli crownglas, a ta okoliczność dozwala utworzyć system achromatyczny przez zestawienie soczewki wypukłej z crownglasu z soczewką wklęsłą z flintglasu, w sposób wskazany na fig. 68. Z powodu silniejszego rozszczepiania światła w soczewkach flintglasowych odległość *fc* (fig. 67) między ogniskami promieni fioletowych i czerwonych jest dwa razy większa, aniżeli w soczewkach crownglasowych,— wynosi w pierwszych około $^1/_{20}$, w drugich około $^1/_{40}$ części odległości ogniskowej soczewki. Jeżeli więc do wypukłej soczewki crownglasowej dobierzemy wklęsłą soczewkę flintglasową o odległości ogniskowej dwa razy większej, a zatem dwa razy słabiej skrzywioną, to odstępy powyższe *fc* będą równe; a że soczewka wklęsła nadaje promieniom przebieg odwrotny, ognisko przeto promieni czerwonych soczewki jednej zejdzie się z ogniskiem promieni fioletowych drugiej. Tym więc sposobem znosi się rozszczepienie barwne, załamanie zaś pozostaje, jakkolwiek osłabione, soczewka bowiem wklęsła, posiadając skrzywienie mniejsze, nie niweczy zupełnie załamania promieni w soczewce wypukłej. Po przejściu przez taki układ achromatyczny soczewek, promienie schodzą się już w jednym punkcie, którego odległość od objektywy jest mniej więcej dwa razy większa, aniżeli odległość ogniskowa użytej soczewki wypukłej.



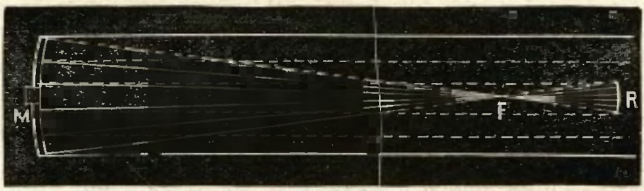
(Fig. 68).

Jak widzimy na fig. 68, z podwójnie wypukłą soczewką crownglasową łączy się zwykle płasko-wklęsła soczewka flintglasowa, posiadająca po stronie wklęsłej zakrzywienie takież samo, jak soczewka wypukła. Gdyby siła rozszczepiająca flintglasu była dokładnie dwa razy większa, aniżeli crownglasu, to druga powierzchnia soczewki wklęsłej dla osiągnięcia achromatyzmu musiałaby być zupełnie płaską; w ogólności wszakże zachodzą pod tym względem w różnych szkłach pewne różnice, co sprawia, że powierzchnia zewnętrzna soczewki wklęsłej również jest nieco zakrzywiona, a zwykle słabo wypukła.

Jakkolwiek zestawienie to soczewek wydaje rezultat dobry, achromatyzm nie jest pomimo to zupełnie doskonały, co stąd pochodzi, że w widmach, powstających przez rozszczepienie światła w różnych szkłach, rozległość barw oddzielnych nie jest zupełnie jednaka, nie wszystkie przeto barwy ulegają dokładnemu przytłumieniu. Miałoby to w tym tylko razie miejsce, gdyby flintglas i crownglas rozszczepiały światło w sposób zupełnie jednaki; pierwszy wszakże z tych gatunków szkła rozszczepia nieco silniej światło czerwone, a światło fioletowe słabiej, aniżeli gatunek drugi, co sprowadza tedy jeszcze słabe zabarwienie brzegów obrazu, nieznaczne w lunetach niewielkich, ale zakłócające w lunetach potężnych, posiadających objektywy o średnicy 50 i więcej centymetrów; jestto również jeden z powodów, które nie dozwalają posuwać powiększenia poza pewną granicę. Spodziewać się wszakże można, że temu zaradzi dalsze udoskonalenie różnych gatunków szkła.

Teleskopy. W czasach, gdy usunięcie chromatyzmu soczewek wydawało się rzeczą niemożebną zgoła, jedyny ratunek widziano w zupełnem usunięciu soczewki przedmiotowej z lunety i zastąpienie jej zwierciadłem wklęsłem, które wydaje przez odbicie promieni obrazy takież same, jak soczewka przez załamanie. Przyrządy, zawierające zwierciadło wklęsłe zamiast soczewki przedmiotowej, zowią się zwykle teleskopami, lubo nazwa ta często przyjmuje się i w znaczeniu ogólnem, obejmując wszelkie narzędzia optyczne, do rozpatrywania przed-

miotów oddalonych służące; w takim razie rozróżniać należy *teleskopy soczewkowe* czyli *lunety* od *teleskopów zwierciadłowych.* Krócej wszakże i dogodniej nazywają się przyrządy pierwszego rodzaju *refraktorami,* gdyż wydają obrazy przez załamanie (refrakcyę), drugie zaś *reflektorami,* obrazy w nich bowiem powstają przez odbicie (refleksyę) promieni. Reflektory zresztą nie wyrzekają się zupełnie soczewek, do rozpatrywania bowiem obrazu rzeczywistego, rzuconego przez zwierciadło, służy w nich powiększające szkło oczne, jak w lunetach. Urządzenie reflektorów nastręcza pewną trudność dlatego, że obraz rzeczywisty, przez zwierciadło rzucony, przypada po tejże samej stronie co przedmiot; obserwator musiałby się zatem znajdować przed zwierciadłem i stanowiłby przeszkodę dla promieni na nie padających.



(Fig. 69).

Trudność tę usunął J. Gregory (1663 roku) przez przewiercenie zwierciadła w środkowej jego części. Promienie przybywające od przedmiotu obserwowanego, odbijają się od zwierciadła *M* (fig. 69) i wydają blisko ogniska *F* obraz przedmiotu; poza ogniskiem znajduje się małe zwierciadełko *R,* również wklęsłe, które odrzuca promienie tak, że w pobliżu otworka *M* powstaje drugi obraz przedmiotu, ten zaś rozpatruje się za pośrednictwem osadzonego w otworze tym okularu. Cassegrain zastąpił następnie zwierciadełko wklęsłe *R* również małem zwierciadłem wypukłem, umieszczonem pomiędzy zwierciadłem *M* a jego ogniskiem *F.* Wypukłe to zwierciadło chwyta promienie, zanim się jeszcze w obraz pierwszy połączą,

i odrzuca ku otworowi zwierciadła *M*, gdzie dopiero powstaje obraz, rozpatrywany przez okular. Urządzenie powyższe przedstawia tę niedogodność, że wymaga usunięcia środkowej, najkorzystniej działającej części zwierciadła. Zaradził temu Newton (1675) przez zastąpienie zwierciadełka krzywego *R* zwierciadełkiem płaskiem i pochylonem względem padających na nie promieni pod kątem 45°, które tedy odrzuca promienie na bok, ku ścianie teleskopu, gdzie osadzona jest rura z okularem. W czasie późniejszym William Herschel, który pierwszy budować zaczął potężne teleskopy, nadał w nich wielkiemu zwierciadłu *M* położenie nieco względem osi rury pochylone, co sprawia, że promienie odeń odbite tworzą obraz, nie w pośrodku rury przy *F*, ale obok jej ściany, tuż przy otworze, gdzie obserwator rozpatruje go przez okular, nie tamując osobą swoją dostępu promieni do teleskopu. W obu więc ostatnich teleskopach obserwator znajdować się musi przy otworze rury, w górnym jej, ku gwieździe zwróconym końcu, jak to widzimy na fig. 71.

Odkąd wynaleziono lunety achromatyczne, mniejsze teleskopy zwierciadłowe ustąpiły zupełnie z użycia, wielkie jednak reflektory rywalizują i obecnie z potężnemi refraktorami, lubo te ostatnie daleko bardziej są rozpowszechnione. Zwierciadła wyrabiać się dają w wymiarach większych, aniżeli soczewki, zbierają zatem większą ilość promieni i wydają obrazy jasne, co umożebnia znaczne powiększenia; refraktory wszakże nie ustępują im znacznie pod tym względem, są zaś w użyciu dogodniejsze, łatwiej można je ku różnym stronom nieba zwracać i lepiej się do ścisłych pomiarów nadają. Zwierciadła reflektorów wyrabiano dawniej wyłącznie z pewnych stopów metalicznych; obecnie używają się częściej szklane zwierciadła, pokryte od strony wklęsłej, ku przedmiotowi zwróconej, cienką warstwą srebra, która się dobrze wygładzać daje.

Załączone rysunki fig. 70 i 71 dają wyobrażenie o budowie i postaci potężnych dzisiejszych refraktorów i reflektorów. Fig. 70 przedstawia refraktor obserwatoryum w Waszyngtonie, którego objektywa ma średnicę 66 centymetrów ($24^1/_2$ cali an-

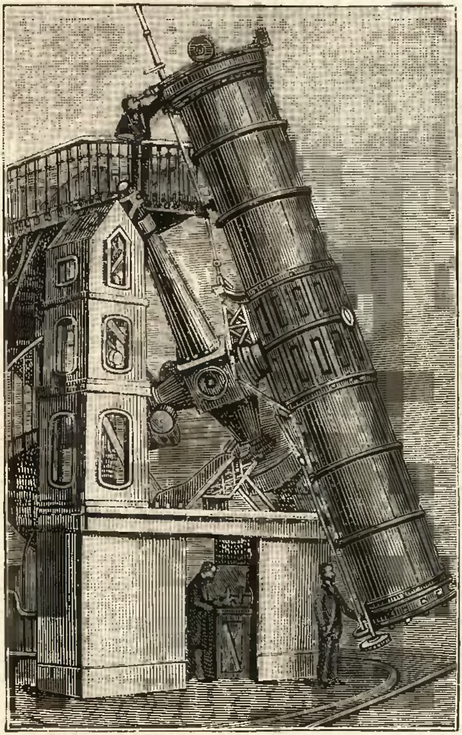
gielskich); długość rury wynosi 10 metrów ($30^1/_2$ stóp), średnica zaś wieży, w której olbrzymia tu luneta jest ustawiona, 12 metrów. Cena całego przyrządu wraz z aparatami pomocniczemi, zegarami, mikrometrami, spektroskopami, wynosiła 46000 dolarów. Refraktor waszyngtoński oddał astronomii ważne usługi, a zasłynął zwłaszcza tem, że za jego pośrednictwem odkryte zostały nader drobne księżyce Marsa; pod względem wielkości wszakże zajmuje obecnie dopiero szóste miejsce śród dotąd zbudowanych refraktorów, większe zaś od niego są refraktory: w obserwatoryum Licka, na górze Hamilton w Kalifornii o otworze $91^1/_2$ cm. (36 cali), w obserwatoryum w Nicei (76 cm.), w Pulkowie (76 cm.), w Paryżu ($73^1/_2$ cm.), w Wiedniu ($68^1/_2$ cm.). Luneta kalifornijska Licka niedługo już zresztą zajmować będzie stanowisko naczelne, również bowiem w Ameryce buduje się refraktor większych jeszcze wymiarów.



(Fig. 70).

Przykład wielkiego reflektora widzimy na fig. 71. Jestto reflektor obserwatoryum paryskiego, zbudowany w roku 1875, posiadający posrebrzone zwierciadło szklane o średnicy 120 centymetrów, a długość 7,3 metra. Okular znajduje się z boku, przy otworze teleskopu, który tedy, jak stąd poznajemy, urządzony jest według typu Newtona. Teleskopy tego rodzaju, jak

to uwidocznia rycina, wymagają zawiłego aparatu schodów i rusztowań, narażając przytem obserwatora na niedogodności; z tego względu przy budowie niektórych najnowszych reflektorów wrócono do pierwotnego typu Gregorego; takim jest teleskop w Melbourne, w Australii, którego zwierciadło ma w średnicy 122 cm. Takiej samej wielkości jest teleskop Lassella, w Maidenhead w Anglii; największym zaś ze wszystkich jest reflektor lorda Rosse'a w Parsonstown, w Irlandyi, posiadający zwierciadło o średnicy 183 cm. czyli 6 stóp ang. Ze słynnych niegdyś teleskopów Herschla największy, zbudowany w roku 1789, długości 39 stóp (11 m.), miał zwierciadło o średnicy 4 stóp (122 cm.). Nadmienić można, że reflektory najwięcej mają zwolenników w Anglii, w innych zaś krajach europejskich, jako też w Ameryce, pierwszeństwo mają refraktory.



(Fig. 71).

Potężne przyrządy optyczne, o których mówiliśmy teraz, oddają niewątpliwie astronomii znaczne usługi i wzbogacają zasób naszych wiadomości astronomicznych, ujawniają bowiem szczegóły, dla przyrządów słabszych niedostępne; do najważniejszych wszakże zadań, do powszednich prac astronomów

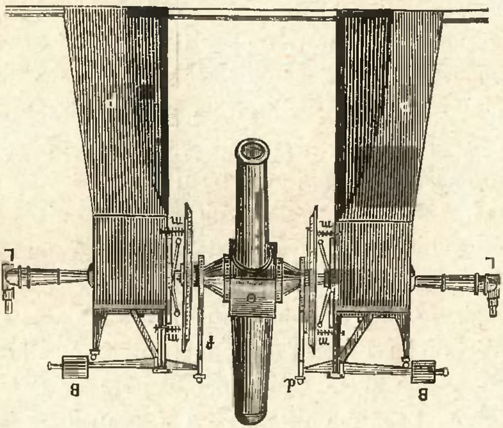
służą raczej lunety mniejszych znacznie wymiarów. Zadania te, jak już wiemy, polegają na mierzeniu kątów, na oznaczaniu położenia brył niebieskich, a do tego celu lunety muszą być połączone z przyrządami mierniczemi. Dopiero w takiem połączeniu luneta osiąga pełnię swej działalności.

47) Przyrządy miernicze.

Wkrótce po wynalezieniu lunety, do pomiarów zastosował ją astronom angielski Gascoigne (około 1640), a to przez umieszczenie nici skrzyżowanych w ognisku objektywy, astronomowie zaś francuscy, Auzoux i Picard, połączyli ją z kołami, podzielonemi na stopnie. Słuszniej może należałoby powiedzieć, że do dawnych przyrządów astronomicznych wprowadzili lunetę, zastępując nią przezierniki kół i kwadrantów południkowych, lub sfer armilarnych i astrolabiów. W istocie rzeczy, zastowanie to lunety nie jest tedy przewrotem zupełnym w budowie narzędzi astronomicznych, ale raczej ważnym tylko krokiem w ciągłem ich doskonaleniu, od czasu najdawniejszych obserwatorów nieba. Rozwój mechaniki praktycznej w zeszłem, a zwłaszcza w bieżącem stuleciu, oddziałał bezpośrednio na budowę narzędzi astronomicznych i doprowadził je do tego stopnia zdumiewającej dokładności, na jakim je dziś widzimy. Wynalazek «maszyny do dzielenia» dozwolił obwody niewielkich nawet kół dzielić ściśle na stopnie i drobniejsze ich podziały, które odczytywać można za pośrednictwem mikroskopu. Zasługa udoskonalenia przyrządów astronomicznych w równej mierze przypada optykom i mechanikom, jak i samym astronomom.

Najważniejszym w każdem obserwatoryum przyrządem jest *koło południkowe* czyli *luneta południkowa*. Jestto luneta opatrzona jednem, lub też dwoma kołami, wraz z nią osadzonemi na wspólnej osi, ułożonej poziomo w kierunku wschodnio-zachodnim; przy obrocie zatem porusza się luneta w płaszczy-

źnie południka i odpowiada tedy kołu ściennemu dawnych astronomów (fig. 62). Urządzenie obecne lunety południkowej przedstawia fig. 72. Oś, jak widzimy, wspiera się na dwu słupach czyli filarach kamiennych *(PP)*, bądź bezpośrednio, bądź też na podporach żelaznych, które na filarach takich spoczywają. Koła, na rycinie przedstawione jako linie proste, opatrzone są na brzegu w podziałkę na stopnie, minuty i drobniejsze nawet ich części, tak, że kreski podziałki idą w odstępach co 5, a niekiedy i co 2 sekundy; do odczytywania zaś podziałki tak drobnej służą mikroskopy *m*, osadzone na filarach, zwykle po

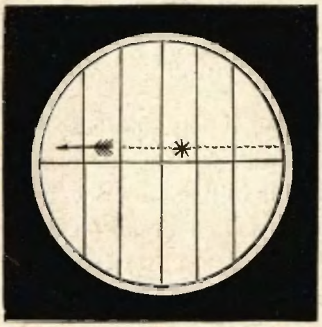


(Fig. 72).

cztery na każdym, które dozwalają oceniać ściśle często nawet dziesiąte części sekundy. Walcowe końce osi, obracające się w osadach, wyrobione być muszą nader starannie, z powodu wszakże znacznego bardzo ciężaru lunety i kół narażone są ustawicznie na nadmierny ucisk, który mógłby powodować szybkie ich zużycie i kołową ich postać przeistaczać. Oś w takim razie traciłaby poziome swe położenie, a luneta odchylałaby się od kierunku pionowego i przy obrocie nie pozostawała w płaszczyźnie południka. Od uszkodzeń takich chronią przyrząd ciężkie walce *B*, osadzone na drążkach, wspartych na

filarach; w drugich swoich końcach *d* drążki te utrzymują pręty *f*, zakończone pierścieniami, któremi obejmują końce osi, a w ten sposób walce *B* tworzą przeciwwagę, która równoważy wszystek prawie ciężar lunety, kół i osi, tak, że przyrząd cały dziesięciotysiączną może tylko częścią ciężaru swego wywiera nacisk na osady, na których się oś wspiera.

Filary i oś przewiercone są tak, że promienie lamp ustawionych zdala oświetlają wnętrze lunety, gdzie rozciągniętą jest sieć cienkich nici pajęczynowych lub szklanych (fig. 73) w jej płaszczyźnie ogniskowej. Za pośrednictwem urządzeń dodatkowych lampy rzucają światło swe na podziałki kół.



(Fig. 73).

Obok lunety południkowej znajduje się zegar, a obserwator, przez lunetę spoglądając, liczy zarazem uderzenia sekund. W pozornej swej drodze dziennej od wschodu ku zachodowi przechodzi gwiazda każda przez południk; jeżeli więc w polu widzenia lunety ukazuje się pewna gwiazda, astronom oznaczyć może chwilę, gdy ona się przez środkową nitkę pionową przesuwa, czyli chwilę jej przejścia przez południk. Odczytując zaś zarazem na podziałce koła kąt, pod jakim luneta jest względem poziomu wtedy pochylona, mamy wysokość, w jakiej się nad poziomem gwiazda ta znajduje w chwili przejścia przez południk. Luneta południkowa tedy wraz z zegarem dozwala oznaczać chwilę przejścia danej gwiazdy przez południk, oraz odpowiadające chwili tej wzniesienie jej nad poziom czyli jej wysokość. Jeżeli luneta południkowa nie jest zaopatrzona w koła z podziałką, to służyć oczywiście może tylko do oznaczenia chwili przejścia gwiazdy przez południk, nie podając przytem wzniesienia jej nad poziom, a w postaci tak uproszczonej

ma nazwę *lunety przejściowej*. Szczegółami zresztą budowy mogą się lunety południkowe dosyć znacznie między sobą różnić.

Przy oznaczaniu czasu liczy obserwator uderzenia sekund swego zegara, przez wprawę zaś osiąga biegłość taką, że oceniać może i dziesiąte części sekundy. Obecnie wszakże dokładniejszy pomiar czasu umożebnia *chronograf elektryczny*, który jest właściwie pewną odmianą zwykłego telegrafu. Na przesuwającej się wstędze papierowej zaznacza zegar co sekunda kropki; obserwator zaś w chwili, gdy gwiazda przez nitkę środkową przechodzi, przerywa prąd elektryczny, co na tejże wstędze wybija również kropkę między dwiema kolejnemi kropkami sekundowemi, z położenia jej zaś oznaczyć można dokładnie przeciąg czasu, jaki upłynął od początku sekundy do chwili przejścia gwiazdy.

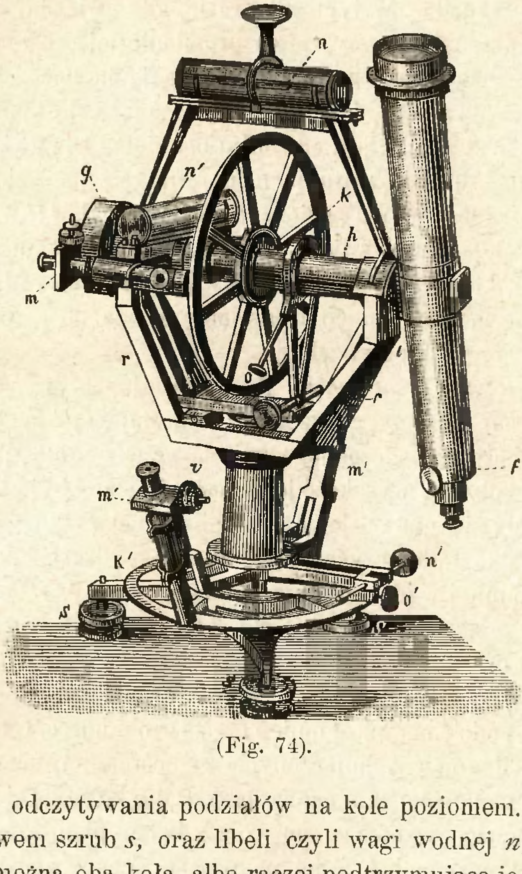
Jakkolwiek obserwacya za pomocą lunety południkowej wymaga tylko nastawienia jej na gwiazdę, uchwycenia chwili, w której przejście gwiazdy tej przez południk ma miejsce, i odczytania na kole kąta, pod jakim luneta względem poziomu jest pochylona, dokonywaną wszakże być musi z niesłychaną starannością, przy uwzględnieniu wszelkich wpływów, które do dostrzeżeń mogą wprowadzać drobne błędy, zwłaszcza, gdy położenie gwiazdy ma być oznaczone ze wszelką możliwą ścisłością.

Żadne dzieło rąk ludzkich nie jest bezwzględnie dokładne, a najdoskonalej nawet wyrobione narzędzia astronomiczne posiadają pewne błędy; oś lunety może nie być dokładnie prostopadłą do osi obrotu, która znów może nie być ściśle poziomą lub dokładnie w kierunku wschodnio-zachodnim ułożoną. Chociażbyśmy zresztą przyjęli, że podobne błędy w konstrukcyi przyrządu nie zachodzą, to przecież już bezustanne zmiany temperatury chwiejność pewną sprowadzają. Zegar, chociaż od wpływów temperatury oswobodzony przez wprowadzenie wahadła kompensacyjnego, zależy wszakże w pewnej mierze od zmiennej gęstości i wilgotności powietrza. Przy każdej zatem obser-

wacyi przyrządy muszą być starannie wyprobowane, a do rezultatów obserwacyi wprowadzać trzeba odpowiednie poprawki rachunkowe. Najważniejszą zaś i niezbędną zawsze jest poprawka, zależna od załamywania się promieni światła w atmosferze, czyli od refrakcyi astronomicznej (§ 31), która sprawia, że gwiazdę widzimy wyżej, aniżeli ona rzeczywiście nad poziomem przypada. W tym tylko razie, gdy gwiazda w samym znajduje się zenicie, gdy zatem promienie jej prostopadle do atmosfery naszej przybywają, przebiegają ją bez załamania, refrakcya zatem jest równą zeru, ale wzmaga się tembardziej, im gwiazda znaczniej jest od zenitu usunięta. Dla gwiazdy oddalonej na 50^0 od zenitu wynosi refrakcya przeszło $1'$, dla gwiazdy zaś ledwie nad poziom wzniesionej około $^1/_2{}^0$. Ponieważ zaś załamywanie światła w atmosferze zależy od gęstości powietrza, która znów jest następstwem jego temperatury i ciśnienia, termometr przeto i barometr należą do koniecznych w obserwatoryach przyrządów.

Kątomiar powszechny. Za pomocą lunety południkowej obserwować możemy gwiazdę, a wzniesienie jej nad poziom mierzyć jedynie podczas jej przejścia przez południk; aby zaś gwiazdę widzieć i wysokość jej oznaczać można było w każdej chwili, gdy się nad poziomem znajduje, należy lunecie nadać ruch nietylko w płaszczyźnie pionowej, ale osadzić ją tak, by dała się swobodnie i w płaszczyźnie poziomej obracać. Tego rodzaju przyrząd przenośny wskazuje fig. 74. Luneta *f* osadzona jest na końcu osi poziomej *h*, która na drugim końcu dźwiga przeciwwagę *g*; na tejże samej osi osadzone jest koło pionowe *k*, starannie podzielone na stopnie i części drobniejsze. Oś wspiera się na podporach *t*, połączonych za pośrednictwem ramy *r* z główną pionową osią *v* całego przyrządu, która się swobodnie obracać może. Luneta zatem wraz z kołem pionowem obraca się na osi poziomej *h* w jej podporach, a oś ta znów jest ruchomą wraz z osią pionową *v*, lunetę przeto nastawić można na każdą dowolną gwiazdę. Koło poziome *k'* pozwala odczytać w jakim kierunku zwróconą jest rama, a wraz z nią luneta.

Inne części przyrządn są dodatkowe i służą bądź do należytego jego regulowania, bądź do dokładnego odczytywania kątów. Dwa mikroskopy *m,* osadzone na podporach osi poziomej, dozwalają dokładnie odczytywać drobne podziały koła pionowego; podobnież mikroskopy *m',* utwierdzone na osi pionowej,



(Fig. 74).

służą do odczytywania podziałów na kole poziomem. Za pośrednictwem szrub *s,* oraz libeli czyli wagi wodnej *n,* doprowadzić można oba koła, albo raczej podtrzymujące je osie, do należytego położenia, poziomego i pionowego. Przyrząd ten nazywa się *kątomiarem powszechnym* czyli *uniwersalnym,* albo też *altazymutem,* służy bowiem zarówno do mierzenia

kątów wysokości *(altitudo)*, jakoteż kątów czyli łuków na poziomie, zwanych *azymutami*.

Jeżeli kątomiar tego rodzaju posiada tylko koło poziome czyli *azymutalne*, służy zatem wyłącznie do mierzenia kątów na poziomie, nazywa się *teodolitem* i używany jest często, zwłaszcza przy robotach geodezyjnych. Jeżeli zaś usuniemy koło poziome, a pozostawimy tylko koło pionowe czyli *wierzchołkowe* i osadzimy je w płaszczyznie południka, otrzymamy lunetę południkową. Kątomiar więc powszechny stanowi jakby połączenie teodolitu z kołem południkowem.

Przyrządy paralaktyczne. Jak widzimy, opisany tu przyrząd słusznie ma nazwę powszechnego, przy jego bowiem pomocy oznaczać możemy położenie któregokolwiek punktu nieba. Jeżeli idzie wszakże o obserwacyę gwiazdy przez dłuższy przeciąg czasu, osadzenie takie lunety i kół byłoby nader niedogodne, gwiazdy bowiem w dziennej swej drodze od wschodu ku zachodowi obiegają drogi względem poziomu pochylone i wysokość swą ustawicznie zmieniają; aby więc gwiazdę statecznie w polu widzenia utrzymać, należałoby wciąż pochylenie lunety zmieniać. Niedogodność tę usunąć można przez pochylenie całego przyrządu tak, by oś jego pionowa zwróconą została ku biegunowi, czyli przyjęła kierunek osi świata; w takim razie, oczywiście, koło poziome *k'*, do osi tej prostopadłe, ułożone będzie w płaszczyznie równika, a koło *k* w płaszczyznie do równika prostopadłej. Obracając wtedy lunetę dokoła osi *h*, nadawać jej możemy dowolne względem równika pochylenie, przez obrót zaś osi *v* oprowadzać możemy lunetę dokoła w kierunku równika. Takie osadzenie czyli umontowanie lunety nazywa się *paralaktycznem*. Jak zatem przy pomocy kątomiaru powszechnego oznaczać możemy położenie gwiazd względem poziomu, tak zmienione to urządzenie pozwala odnosić położenie ich do równika, a przyrząd mierniczy do celu tego zastosowany ma nazwę *ekwatoryału*. Koło w płaszczyznie równika przypadające nazywa się *kołem godzinnem*, koło zaś do niego prostopadłe *kołem zboczeń*, a odpowiednio do tego i osie, na

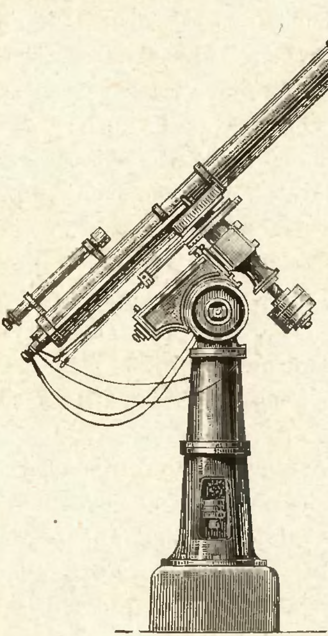
których koła te są osadzone, *osią godzinną* i *osią zboczeń;* zn a czenie tych nazw następnie poznamy.

Gdy, przy osadzeniu paralaktycznem lunety, nadamy je położenie równoległe do koła godzinnego, to przy obrocie pozostawać ona wciąż będzie w płaszczyznie równika niebieskiego, zwracając się kolejno ku różnym jego punktom; przy jakiemkolwiek innem pochyleniu opisuje ona w tenże sam sposób pewien równoleżnik.

Ponieważ zaś drogami dziennemi gwiazd na niebie są właśnie równoleżniki, jeżeli więc lunetę zwrócimy na którąkolwiek gwiazdę i następnie, nie zmieniając jej pochylenia, obracamy ją dokoła osi godzinnej, która w kierunku osi świata przypada, będziemy mogli gwiazdę tę statecznie w polu widzenia utrzymać, jeżeli tylko obrót lunety dokonywany będzie z szybkością, odpowiadającą obrotowi dziennemu nieba; ruch zaś tak uregulowany utrzymywany być może, bez udziału ręki, za pomocą urządzenia zegarowego. W taki sposób osadzone są wielkie lunety i teleskopy, czyli *refraktory* i *reflektory,* o których mówiliśmy poprzednio (fig. 70 i 71), astronom bowiem, chcąc dane ciało niebieskie przez czas pewien obserwować, potrzebuje raz tylko na nie nastawić lunetę, która już dalej automatycznie za biegiem jego posuwać się będzie. Nieco wyraźniej takie osadzenie czyli umontowanie paralaktyczne refraktora mniejszych wymiarów przedstawia fig. 75.

Luneta umieszczona jest na osi zboczeń, która jest do osi godzinnej prostopadła; na tychże osiach osadzone są koła, których wszakże dla niewielkich ich wymiarów wyraźnie nie widzimy. Drobna luneta dodatkowa, przytwierdzona w pobliżu szkła ocznego właściwej lunety obserwacyjnej i do niej równoległa, służy do łatwiejszego odszukania danego przedmiotu na niebie; przy słabszem bowiem powiększeniu obejmuje rozleglejszą część nieba, czyli posiada większe pola widzenia. W środku tego pola przypadająca gwiazda znajduje się właśnie w polu widzenia lunety większej.

Niekiedy oznaczać trzeba wzajemne względem siebie położenie dwu gwiazd sąsiednich, czyli oddalonych między sobą o kąt bardzo drobny. Dla pomiarów takich małych kątów zaopatrzone są często lunety w dodatkowe przyrządy miernicze, zwane *mikrometrami.* Mikrometry mają urządzenia dosyć różne, wogólności zaś składają się z układu cienkich nici, rozpostartych w ognisku szkła ocznego i dających się przesuwać za pośrednictwem obrotu szruby; z wielkości tego obrotu ocenić można kąt, o jaki przesunąć trzeba było nitkę, gdy przypadała najpierw z jedną, a następnie z drugą gwiazdą.



(Fig. 75).

Najściślejszym przyrządem mikrometrycznym jest *heliometr,* zbudowany przez Fraunhofera, a przeznaczony pierwotnie, jak to nazwa jego wskazuje, głównie do mierzenia średnicy słońca.

48) Nauki pomocnicze astronomii.

Z dostrzeżeń dokładnych, z pomiarów ściśle przeprowadzonych, osiąga astronomia pojęcia ogólne czyli prawa, tyczące się ruchów ciał niebieskich i wogóle objawów na niebie zachodzących; z praw zaś tak zdobytych wysnuwa wnioski, które znów potwierdza obserwacya. Droga czyli metoda badań,

która prowadzi od szczegółów do ogółu, od dostrzeżeń do pojęć, od zjawisk do praw, jest indukcyą; droga odwrotna, wiodąca od pojęć do faktów, od praw ogólnych do zjawisk szczegółowych, stanowi dedukcyę. Indukcya jest początkiem, dedukcya uwieńczeniem każdego badania; znaczenie i różnicę obu tych metod wyjaśni nam najlepiej historya badań ruchów planetarnych.

Już przy indukcyi, a bardziej jeszcze w dedukcyi niezbędną jest pomoc matematyki, w jej bowiem tylko ścisłym i jasnym języku, rozumowania nasze w biegu należytym utrzymać się mogą. Matematyce tak wybitny przypada udział w rozwoju astronomii, że niektórzy, lubo niewłaściwie, wprost ją do nauk matematycznych zaliczają, gdy zarówno z przedmiotu jak i z metody swojej jest ona gałęzią nauk przyrodniczych.

Z natury też rzeczy astronomia, a zwłaszcza ten jej dział, który o ruchach ciał niebieskich traktuje, wspiera się bezpośrednio na zasadach mechaniki; odkąd zaś astronomia zakres swój rozszerzyła i zajęła się badaniem natury i budowy fizycznej ciał niebieskich, zjednoczyła się też ściślej i z innemi częściami fizyki.

Optyce zwłaszcza zawdzięcza ona trzy nowe metody badań, trzy środki, ktore nam tajemnicę budowy dalekich światów odsłaniają; środkami temi są: fotografia, fotometrya, przedewszystkiem zaś analiza spektralna, a stąd *ciemnia optyczna, fotometr* i *spektroskop* zajęły w obserwatoryach stanowisko równorzędnego z lunetą znaczenia. Wyjaśnienie tych metod podamy, gdy do usług ich odwołać się nam przyjdzie.

Dzięki analizie spektralnej poznajemy nawet pierwiastki, z których się ciała niebieskie składają; w ten sposób styka się astronomia i z chemią, a łączność ta świadczy, że i odrębne napozór gałęzie wiedzy przyrodniczej zbiegają się we wspólnym celu ogólnej znajomości natury.

Dodatek do str. 44.

Wymiary ziemi.

Na str. 44 przytoczone są wymiary ziemi według obliczeń Listinga, dokonanych w roku 1873. Rachunki nowsze, przeprowadzone przy uwzględnieniu pomiarów lat ostatnich, wykazują wielkości nieco odmienne; podajemy więc tu dodatkowo rezultaty obliczeń Faye'a, przyjęte w roczniku paryskiego «Bureau des Longitudes» na rok 1898:

Promień równikowy $a = 6.378.393 \pm 79$ metrów.

„ biegunowy $b = 6.356.549 \pm 109$ „

Spłaszczenie $\frac{a-b}{a} = \frac{1}{292 \pm 1}$.

Ćwiartka południka	10.002.008 metrów.
„ równika	10.019.156 „
Powierzchnia ziemi	510.082.000 kilom. kwadr.
Objętość „	1.083.260.000.000 „ „

Kula, posiadająca tęż samą co ziemia objętość, miałaby promień długości 6.371.103 metrów, kula zaś jednakiej z ziemią powierzchni — promień 6.371.109 metrów.

Obserwacye wahadła wydają obecnie na wielkość spłaszczenia ziemi ułamek $\frac{1}{292,2 \pm 1,5}$ jak widzimy, niewiele tylko odstępujący od wartości, wyprowadzonej z pomiarów geodezyjnych.

SPIS.

Str.

KSIĘGA I.

Ziemia jako bryła niebieska.

ROZDZIAŁ I.

O postaci i wielkości ziemi.

ROZDZIAŁ II.

O masie i gęstości ziemi.

ROZDZIAŁ III.

Obrót osiowy ziemi.

ROZDZIAŁ IV.

Obieg ziemi dokoła słońca.

ROZDZIAŁ V.

Rachuba czasu.

ROZDZIAŁ VI.

Oznaczanie położenia miejsc na ziemi.

ROZDZIAŁ VII.

Przyrządy i środki pomocnicze astronomii.